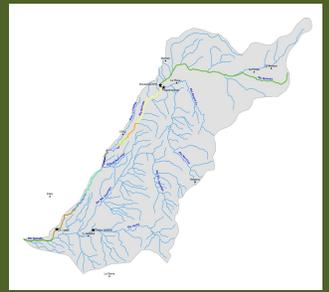


ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

Convenio Interadministrativo N° 027 Noviembre 10 de 2010
Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)
Universidad del Quindío – Grupo de Investigación CIDERA



JUNIO DE 2011



ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA LA UMC RÍO QUINDÍO



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 027 DE NOVIEMBRE 10 DE 2010
Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ)
Universidad del Quindío – Grupo de Investigación CIDERA



ARMENIA, JUNIO DE 2011

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS PARA LA UMC RÍO QUINDÍO

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 027 DE NOVIEMBRE 10 DE 2010

INFORME FINAL

Equipo de Trabajo:

UNIVERSIDAD DEL QUINDIO

Grupo CIDERA:
DEL QUINDIO

Ing. GABRIEL LOZANO SANDOVAL, Investigador Principal
Ing. JUAN PABLO GOMEZ OSPINA, Auxiliar de Investigación
Ing. HECTOR JAVIER TRIVIÑO LOAIZA, Auxiliar de Investigación
Ing. CESAR AUGUSTO RODRIGUEZ MEJIA, Topógrafo - Esp. SIG
Ing. ELKIN ANIBAL MONSALVE DURANGO, Co-Investigador
Ing. PEDRO LEÓN GARCÍA REINOSO, Co-Investigador

Interventores:

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL QUINDIO

Ing. JOSE MANUEL CORTES OROZCO, Subdirector Ejecución de Políticas Ambientales
Ing. PATRICIA ROJAS SANCHEZ, Profesional Especializada

ARMENIA, JUNIO DE 2011

DESCARGOS

El contenido de este documento estima Caudales Ecológicos mediante métodos hidrológicos e hidráulicos, aplicados en la UMC río Quindío Colombia, para su implementación se deben validar dichas metodologías y se sugiere un proceso de concertación con los usuarios del sistema de recursos hídricos.



TABLA DE CONTENIDO

1.0	INTRODUCCIÓN.....	20
2.0	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivo General	22
2.2	Objetivos Específicos	22
3.0	MARCO CONCEPTUAL	23
3.1	CAUDAL ECOLÓGICO	23
3.2	MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS	23
3.2.1	Métodos hidrológicos	24
3.2.1.1	Método de Matthey.....	24
3.2.1.2	Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH)	24
3.2.1.3	Método Suizo.....	24
3.2.1.4	Método de Texas.....	25
3.2.1.5	Método de Utah	25
3.2.1.6	Método NGPRP (Programa de recursos de las Grandes Llanuras de EE.UU.).....	25
3.2.1.7	Método de Hoppe.....	25
3.2.1.8	Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves).....	26
3.2.1.9	Método Asturiano	26
3.2.1.10	Método Navarro.....	26
3.2.1.11	Método Vasco.....	26
3.2.1.12	Método del 7Q10.....	26
3.2.1.13	Método del Q95.....	27
3.2.2	Métodos hidráulicos	27
3.2.2.1	Método de Tennant o Montana	27
3.2.2.2	Método de Montana	27
3.2.2.3	Método de Tessman.....	27
4.0	METODOLOGÍA	28
4.1	Fase I: PRELIMINARES.....	28
4.2	Fase II: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	28
4.3	Fase III: RESTITUCION A REGIMEN NATURAL.....	29
4.4	Fase IV: METODOS DE ESTIMACIONDE CAUDALES ECOLOGICOS	29

4.5 Fase V: ANALISIS DE RESULTADOS	30
5.0 CASO DE ESTUDIO	31
5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	31
5.1.1 POBLACIÓN Y PARTICIPACIÓN TERRITORIAL	32
5.1.2 GEOMORFOLOGÍA.....	33
5.1.3 GEOLOGÍA.....	34
5.1.3.1 Geología por municipios	35
5.1.4 CLIMA.....	36
5.1.4.1 Clasificación climática.....	36
5.1.4.2 Sistema hidrológico.....	36
5.1.4.2.1 Información disponible.....	36
5.1.4.3 Oferta hídrica superficial.....	38
5.1.4.4 Oferta hídrica subterránea.....	40
5.1.4.5 Demanda hídrica	40
5.1.5 CONCESIONES.....	40
5.1.5.1 Bocatoma EPA.....	40
5.1.5.2 PCH's Multipropósito de Calarcá.....	41
5.1.5.3 Bocatoma La Tebaida.....	41
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA UMC RÍO QUINDÍO.....	42
5.2.1 MORFOMETRÍA DE LA UMC RÍO QUINDÍO	42
5.2.1.1 Parámetros fisiográficos	42
5.2.1.2 Relieve	43
5.2.1.3 Elevación de la cuenca	44
5.2.1.4 Pendiente.....	44
5.2.1.4.1 Pendiente media de la UMC por el método de Alvord.....	44
5.2.1.4.2 Pendiente media de la UMC por el método de Horton.....	45
5.2.1.5 Sistema de drenaje	45
5.2.1.5.1 Orden del cauce.....	45
5.2.1.5.2 Densidad de drenaje.....	45
5.2.1.6 Cauce principal.....	45
5.2.1.7 Coeficiente de torrencialidad (Ct).....	45
5.2.1.8 Sinuosidad	46
5.2.1.9 Pendiente del cauce.....	46
5.2.1.10 Tiempo de concentración	46
5.2.2 SUELOS.....	47
6.0 VALIDACIÓN DE INFORMACION HIDROLÓGICA Y LIMNIGRÁFICA	48

6.1 METODOLOGÍA	48
6.2 PROCEDIMIENTO	49
6.2.1 Prueba de rachas	49
6.2.1.1 Prueba de rachas a estaciones limnigráficas.....	50
6.2.1.2 Prueba de rachas a estaciones hidrológicas.....	51
6.2.2 Curva de Doble masa	54
6.2.2.1 Curva de doble masa para estaciones limnigráficas:	54
6.2.2.2 Curva de doble masa para estaciones hidrológicas	63
6.3 ERROR O INCERTIDUMBRE	77
6.3.1 Bocatoma EPA	80
6.3.2 Palestina Baja – Navarco	80
7.0 RESTITUCION DE CAUDALES A REGIMEN NATURAL DE LA UMC RÍO QUINDIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP	81
7.1 DESCRIPCION DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP	81
7.2 CATCHMENT O UNIDAD BASICA DE MODELACION HIDROLOGICA	82
7.3 METODOS PARA SIMULAR PROCESOS HIDROLOGICOS EN SSD WEAP	82
7.3.1 Método solo de riego (FAO).....	82
7.3.2 Método Lluvia Escorrentía (FAO)	82
7.3.3 Método Lluvia Escorrentía (Método de la Humedad del Suelo)	83
7.4 PROCESO DE APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP	83
7.5 APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP EN LA UMC RÍO QUINDÍO	83
7.5.1 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO	83
7.5.2 BUSQUEDA Y ANALISIS DE LA INFORMACION	85
7.5.3 DESARROLLO DEL MODELO HIDROLOGICO EN SSD WEAP	86
7.5.3.1 Construcción del esquema	86
7.5.3.2 Selección del modelo Lluvia-Escorrentía.....	87
7.5.3.3 Introducción de Datos	88
7.5.3.4 Ejecución del modelo	93
7.5.3.5 Resultados	93
7.5.3.6 Calibración del modelo.....	95
7.5.3.6.1 Calibración de Subcuencas aportantes.....	95

7.5.3.6.2	Calibración de cuencas intermedias.....	101
7.5.4	RESTITUCION A REGIMEN NATURAL DE CAUDALES MEDIANTE EL SSD WEAP	111
8.0	APLICACION DE METODOLOGIAS Y RESULTADOS	113
8.1	NACIMIENTO RÍO QUINDÍO – BOCATOMA EPA	114
8.1.1	Información preliminar	115
8.1.2	Metodologías a escala mensual	116
8.1.2.1	Método de Texas.....	116
8.1.2.2	Método de Utah	117
8.1.2.3	Método de Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte de EE.UU (NGPRP).....	118
8.1.2.4	Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves).....	119
8.1.2.5	Método Navarro.....	119
8.1.2.6	Método Vasco.....	120
8.1.2.7	Método de Tessman.....	121
8.1.2.8	Método del Q95 (Aplicado en Colombia).....	121
8.1.2.9	Resumen y conclusiones	122
8.1.3	Metodologías a escala anual	128
8.1.3.1	Método de Matthey.....	128
8.1.3.2	Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH)	129
8.1.3.3	Método Suizo	130
8.1.3.4	Método Asturiano	131
8.1.3.5	Resumen y conclusiones	132
8.1.4	Metodología sin escala temporal.....	136
8.1.4.1	Método de Hoppe.....	137
8.1.5	Metodologías aplicadas en Colombia.....	137
8.1.5.1	Método del 7Q10.....	137
8.1.5.2	Método del IDEAM (2004)	139
8.1.5.3	Método del Estudio Nacional del Agua Q 97.5 (2004)	139
8.1.5.4	Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004).....	141
8.2	ESTACIÓN PALESTINA BAJA - NAVARCO.....	142
8.2.1	Información preliminar	143
8.2.2	Metodologías a escala mensual	144
8.2.2.1	Método de Texas.....	144
8.2.2.2	Método de Utah	144
8.2.2.3	Método de Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte de EE.UU (NGPRP).....	145
8.2.2.4	Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves).....	146
8.2.2.5	Método Navarro.....	147

8.2.2.6 Método Vasco.....	147
8.2.2.7 Método de Tessman.....	148
8.2.2.8 Método del Q95 (Aplicado en Colombia).....	149
8.2.2.9 Resumen y conclusiones.....	149
8.2.3 Metodologías a escala anual.....	155
8.2.3.1 Método de Matthey.....	155
8.2.3.2 Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH).....	156
8.2.3.3. Método Suizo.....	157
8.2.3.4 Método Asturiano.....	157
8.1.3.5 Resumen y conclusiones.....	158
8.2.4 Metodología sin escala temporal.....	163
8.2.4.1 Método de Hoppe.....	164
8.2.5 Metodologías aplicadas en Colombia.....	164
8.2.5.1 Método del 7Q10.....	164
8.2.5.2 Método del IDEAM (2004).....	166
8.2.5.3 Método del Estudio Nacional del Agua Q97.5 (2004).....	166
8.2.5.4 Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004).....	168
8.3 TRAMOS INTERMEDIOS.....	169
8.3.1 Tramo N° 2: Bocatoma EPA – Confluencia Río Navarco.....	170
8.3.2 Tramo N° 3: Confluencia Río Navarco – Toma PCH Campestre.....	171
8.3.3 Tramo N° 4: Toma PCH Campestre – Toma PCH Bayona.....	174
8.3.4 Tramo N° 5: Toma PCH Bayona – Toma Bocatoma La Tebaida.....	175
8.3.5 Tramo N° 6: Toma Bocatoma La Tebaida – Toma PCH La Unión.....	178
8.3.5 Tramo N° 7: Toma PCH La Unión- Confluencia Quebrada La Florida.....	179
8.3.7 Tramo N° 8: Confluencia Quebrada La Florida – Flujo de retorno Armenia.....	182
8.3.8 Tramo N° 9: Flujo de retorno Armenia – Flujo de retorno PCH La Unión.....	183
8.3.9 Tramo N° 10: Flujo de retorno PCH La Unión – Toma canal PCH El Bosque.....	186
8.3.10 Tramo N° 11: Toma canal PCH El Bosque – Confluencia Quebrada El Pescador.....	187
8.3.11 Tramo N° 12: Confluencia Quebrada El Pescador – Flujo de retorno PCH El Bosque.....	190
8.3.11 Tramo N° 13: Flujo de retorno PCH El Bosque- Confluencia Río Verde.....	191
8.3.12 Tramo N° 14: Confluencia Río Verde – Intersección Barragán-La Vieja.....	192

8.4 ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA CENTRO EXPERIMENTAL DE LA GUADUA SOBRE EL CAUCE DEL RÍO VERDE.....	197
8.4.1 Información preliminar	198
8.4.2 Metodologías a escala mensual	199
8.4.3 Metodologías a escala anual	201
8.4.4 Metodologías a aplicadas en Colombia	203
8.4.4.1 Método del Q95.....	203
8.4.4.2 Método del 7Q10.....	204
8.4.4.3 Método del IDEAM (2004)	205
8.4.4.4 Método del Estudio Nacional del Agua Q97.5 (2004)	206
8.4.4.5 Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004).....	207
9.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS	208
9.1 ESTACIÓN BOCATOMA EPA – VEREDA EL AGRADO, SALENTO.....	208
9.2 ESTACIÓN DE BOMBEO DE LA EPA – CHAGUALÁ, CALARCÁ	210
9.3 ANTES DE LA DESCARGA DE LA PCH CAMPESTRE (TRAMO 4)	212
9.4 ANTES DE LA BOCATOMA DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA (TRAMO 5).....	213
9.5 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA BOCATOMA LA TEBAIDA Y PCH LA UNIÓN (TRAMO 6).....	215
9.6 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PCH LA UNIÓN Y LA CONFLUENCIA CON QUEBRADA LA FLORIDA (TRAMO 7).....	216
9.7 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PCH EL BOSQUE Y CONFLUENCIA CON LA QUEBRADA EL PESCADOR (TRAMO 11).....	217
9.8 ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA CALLE LARGA.....	219
10.0 CONSTRUCCION HERRAMIENTA PARA LA CONSULTA Y GESTION DE CAUDALES ECOLOGICOS Y CONCESIONES DE AGUA EN LA UMC RIO QUINDIO MEDIANTE SIG ARCGIS.....	221
10.1 CONSTRUCCIÓN ARCHIVOS SHAPE.....	221
10.2 GEOREFERENCIACIÓN DEL PROYECTO	225
10.3 CONSTRUCCIÓN HERRAMIENTA DE CONSULTA BASE DE DATOS CAUDALES ECOLOGICOS	226
10.3.1 Procedimiento para consulta de caudales ecológicos en la base de datos de ArcGIS	228

10.3.1.1 Procedimiento con Relación de Tablas .dbase.....	229
10.3.1.2 Procedimiento con Hipervínculos.....	235
11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	238
12.0 AGRADECIMIENTOS.....	242
13.0 REFERENCIAS.....	243



LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1	Coordenadas geográficas de la UMC del río Quindío	31
Tabla N° 2	Población de municipios pertenecientes a la UMC Río Quindío para el año 2005	32
Tabla N° 3	Extensión de la UMC del río la Quindío por departamento y municipios que la conforman.....	33
Tabla N° 4	Corrientes hídricas pertenecientes a la UMC Río Quindío	33
Tabla N° 5	Unidades climáticas del departamento del Quindío	37
Tabla N° 6	Estaciones Hidrometeorológicas UMC Río Quindío - Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ.....	37
Tabla N° 7	Estaciones limnigráficas UMC Río Quindío - Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ	38
Tabla N° 8	Municipios del Quindío y subcuencas que abarcan.	39
Tabla N° 9	Caudal, oferta y rendimiento promedio de subcuencas y áreas de escurrimiento en la UMC Río Quindío.....	39
Tabla N° 10	Características fisiográficas.....	43
Tabla N° 11	Forma UMC Río Quindío.....	43
Tabla N° 12	Elevación UMC Río Quindío.....	44
Tabla N° 13	Elevación UMC Río Quindío.....	46
Tabla N° 14	Tiempo de concentración UMC Río Quindío.....	46
Tabla N° 15	Prueba de rachas estación bocatoma EPA.....	50
Tabla N° 16	Test de Rachas Estaciones limnigráficas	51
Tabla N° 17	Prueba de rachas estación El Bosque	52
Tabla N° 18	Prueba de rachas estación El Bosque – Resultados obtenidos	52
Tabla N° 19	Test de Rachas Estaciones Hidrológicas – Precipitación.....	53
Tabla N° 20	Test de Rachas Estaciones Hidrológicas – Evapotranspiración.....	53
Tabla N° 21	Procesamiento de información – Estación Base.....	55
Tabla N° 22	Procesamiento de información – Tramo a corregir	56
Tabla N° 23	Factores de Corrección para los tramos a corregidos – Bocatoma EPA.....	58
Tabla N° 24	Factores de Corrección para los tramos a corregidos – Palestina Baja	62
Tabla N° 25	Distribución de las estaciones hidrológicas para construir la curva de doble masa..	63
Tabla N° 26	Procesamiento de información para el año 1995 de las estaciones pertenecientes a la Estación Base N° 1	64
Tabla N° 27	Curva de Doble masa sin corregir– El Bosque	66
Tabla N° 28	Nivel de confianza	78
Tabla N° 29	Exactitud recomendada (Niveles de incertidumbre) expresada al 95% del intervalo de confianza.....	79
Tabla N° 30	Incertidumbre obtenida para la estación Bocatoma EPA	80
Tabla N° 31	Incertidumbre obtenida para la estación Palestina Baja	80
Tabla N° 32	Cantidad de Agua Captada por las Unidades de Demanda	89

Tabla N° 33. Variación mensual de la demanda.....	90
Tabla N° 34. Áreas Subcuencas del río Quindío	91
Tabla N° 35. Índices de eficiencia de Nash y BIAS	101
Tabla N° 36. Tramos divisorios del río Quindío	111
Tabla N° 37. Escala temporal de metodologías.....	114
Tabla N° 38. Comparación Caudales Ecológicos de metodologías a escala mensual Bocatoma EPA	124
Tabla N° 39. Metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) - Método de Matthey.....	129
Tabla N° 40. Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Asturiano	131
Tabla N° 41. Comparación de metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) 1995 - 2004	133
Tabla N° 42. Método a escala especial (Bocatoma EPA) – Hoppe.....	137
Tabla N° 43. Análisis de frecuencia (Bocatoma EPA) – Método del 7Q10	138
Tabla N° 44. Comparación de metodologías a escala mensual Navarco	151
Tabla N° 45. Metodologías a escala anual (Navarco) - Método de Matthey	156
Tabla N° 46. Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de Asturiano	158
Tabla N° 47. Comparación de metodologías a escala anual (Navarco) 1995 - 2004	160
Tabla N° 48. Método a escala especial (Navarco) – Método de Hoppe.....	164
Tabla N° 49. Análisis de frecuencias (Navarco) – Método del 7Q10	165
Tabla N° 50. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 2)	172
Tabla N° 51. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 2).....	172
Tabla N° 52. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 3)	173
Tabla N° 53. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 3).....	173
Tabla N° 54. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 4)	176
Tabla N° 55. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 4).....	176
Tabla N° 56. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 5)	177
Tabla N° 57. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 5).....	177
Tabla N° 58. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 6)	180
Tabla N° 59. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 6).....	180
Tabla N° 60. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 7)	181
Tabla N° 61. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 7).....	181
Tabla N° 62. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 8)	184
Tabla N° 63. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 8).....	184
Tabla N° 64. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 9)	185
Tabla N° 65. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 9).....	185
Tabla N° 66. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 10)	188
Tabla N° 67. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 10).....	188
Tabla N° 68. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 11)	189
Tabla N° 69. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 11).....	189
Tabla N° 70. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 12)	193
Tabla N° 71. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 12).....	193
Tabla N° 72. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 13)	194
Tabla N° 73. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 13).....	194

Tabla N° 74. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 14)	195
Tabla N° 75. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 14)	195
Tabla N° 76. Comparación de metodologías a escala mensual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995 - 2004	200
Tabla N° 77. Comparación de metodologías a escala anual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995 - 2004	202
Tabla N° 78. Análisis de frecuencias (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) – Método del 7Q10	204
Tabla N° 79. Caudales analizados para el punto de Bocatoma EPA	209
Tabla N° 80. Caudales analizados para el punto de Estación de bombeo de EPA (Chagualá) ..	211
Tabla N° 81. Caudales analizados para el punto de Descarga PCH Campestre	213
Tabla N° 82. Caudales analizados para el punto de Bocatoma La Tebaida	214
Tabla N° 83. Caudales analizados para el punto de PCH La unión	215
Tabla N° 84. Caudales analizados para el punto de confluencia con la quebrada La Florida	217
Tabla N° 85. Caudales analizados para el punto de confluencia con la quebrada El Pescador ..	218
Tabla N° 86. Caudales analizados para el punto de la Estación Limnigráfica Calle Larga	220
Tabla N° 87 Longitud de ríos principales UMC río Quindío	222
Tabla N° 88. Área y perímetro sub-cuencas UMC río Quindío	222
Tabla N° 89. Caudales ecológicos mediante el método Q95 para los tramos estudiados a escala mensual	241



LISTADO DE FIGURAS

Figura N° 1 Disponibilidad de Agua Dulce (GWP, 2005)	20
Figura N° 2. Localización del Área de Estudio.....	31
Figura N° 3 Cuenca alta UMC Río Quindío	42
Figura N° 4 Curva hipsométrica UMC Río Quindío.....	44
Figura N° 5 Paisaje de montaña – vereda El Agrado	47
Figura N° 6 Curva de doble masa Estación Bocatoma EPA.....	56
Figura N° 7 Obtención de Factor de corrección en el tramo a corregir	57
Figura N° 8 Procesamiento de información – Tramo corregido	57
Figura N° 9 Procesamiento de información – Tramo corregido de forma automática	58
Figura N° 10 Curva de Doble masa sin corregir– Bocatoma EPA	59
Figura N° 11 Curva de Doble masa datos corregidos– Bocatoma EPA.....	60
Figura N° 12 Curva de Doble masa sin corregir– Palestina Baja.....	61
Figura N° 13 Curva de Doble masa datos corregidos– Palestina Baja	62
Figura N° 14 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– El Bosque.....	65
Figura N° 15 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– El Bosque.....	67
Figura N° 16 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Picota	68
Figura N° 17 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Navarco	68
Figura N° 18 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Bremen	69
Figura N° 19 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Playa	70
Figura N° 20 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– CRQ.....	70
Figura N° 21 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Edén	71
Figura N° 22 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Centro de la Guadua.....	71
Figura N° 23 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Sierra	72
Figura N° 24 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– El Bosque.....	73
Figura N° 25 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Picota.....	73
Figura N° 26 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Navarco	74
Figura N° 27 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Bremen	74
Figura N° 28 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Playa.....	75
Figura N° 29 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– CRQ.....	75
Figura N° 30 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Edén	76
Figura N° 31 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Centro de la Guadua.....	76
Figura N° 32 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Sierra	77
Figura N° 33 Elementos hidrológicos modelados en WEAP	81
Figura N° 34 UMC Río Quindío	85
Figura N° 35 Esquema Modelo Hidrológico de la UMC Río Quindío en SSD WEAP	87
Figura N° 36 Cantidad de Agua Captada por las Unidades de Demanda.....	89
Figura N° 37 Áreas de las subcuencas del río Quindío	91
Figura N° 38 Gráfica de Precipitación	92
Figura N° 39 Gráfica de Evapotranspiración real	92

Figura N° 40 Ejecución del modelo	93
Figura N° 41 Caudales circulantes en la UMC Río Quindío.....	94
Figura N° 42 Escorrentía por precipitación.....	95
Figura N° 43 Curva de caudales medidos y simulados en estación limnigráfica bocatoma EPA .	96
Figura N° 44 Variación Kc una vez calibrado el modelo hidrológico en SSD WEAP.....	97
Figura N° 45 Variación de la escorrentía y la infiltración	98
Figura N° 46 Escorrentía por precipitación parte alta de la UMC Río Quindío.....	98
Figura N° 47 Caudal circulante en la parte alta de la UMC Río Quindío.....	99
Figura N° 48 Curva Caudal Observado y Curva Caudal simulado en la estación limnigráfica Bocatoma EPA después de calibrado el modelo hidrológico.....	100
Figura N° 49 Curva de caudales medidos y simulados en Estación Limnigráfica Calle Larga	102
Figura N° 50 Curva de caudales medidos multianuales Vs Caudales aforados en Estación Limnigráfica Calle Larga.....	103
Figura N° 51 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Estación de bombeo EPA.....	105
Figura N° 52 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Antes descarga PCH Campestre	106
Figura N° 53 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Antes de bocatoma La Tebaida	107
Figura N° 54 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Calle Larga.....	108
Figura N° 55 Escorrentía por precipitación parte media de la UMC Río Quindío	109
Figura N° 56 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a).....	110
Figura N° 56. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)	110
Figura N° 57 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a).....	110
Figura N° 57. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)	110
Figura N° 58 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a).....	110
Figura N° 58. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)	110
Figura N° 59 Caudal Simulado calibrado y Caudal restituído a régimen natural tramo 2 del río Quindío	112
Figura N° 60 Caudal Simulado calibrado y Caudal restituído a régimen natural tramo 8 del río Quindío	112
Figura N° 61 Serie histórica de caudales diarios Bocatoma EPA 1995-2004.	114
Figura N° 62 Serie histórica de caudales mensuales Bocatoma EPA 1995-2004.....	115
Figura N° 63 Serie histórica de caudales mensuales Bocatoma EPA 1995-2004.....	116
Figura N° 64 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de TEXAS	117
Figura N° 65 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de UTAH..	118
Figura N° 66 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de NGPRP	118
Figura N° 67 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Flow Duration Curves	119

Figura N° 68	Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Navarro	120
Figura N° 69	Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Vasco.	120
Figura N° 70	Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Tessman	121
Figura N° 71	Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Q95	122
Figura N° 72	Promedio mensual multianual de caudales ecológicos Bocatoma EPA	123
Figura N° 73	Comparación de Caudales Ecológicos metodologías a escala mensual – Bocatoma EPA	125
Figura N° 74	Comportamiento de las metodologías en cada mes (Bocatoma EPA). (1).....	126
Figura N° 75	Comportamiento de las metodologías en cada mes (Bocatoma EPA). (2)	127
Figura N° 76	Metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) – Método de Matthey.....	128
Figura N° 77	Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método de DGOH ..	130
Figura N° 78	Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Suizo	130
Figura N° 79	Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Asturiano.....	131
Figura N° 80	Promedio multianual (Bocatoma EPA) 1995 – 2004.....	132
Figura N° 81	Comparación de metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) 1995 -2004.....	134
Figura N° 82	Comportamiento de las metodologías en cada año (Bocatoma EPA) 1995 – 2004 (1)	135
Figura N° 83	Comportamiento de las metodologías en cada año (Bocatoma EPA) 1995 – 2004 (2)	136
Figura N° 84	Análisis de frecuencia Método del 7Q10 (Bocatoma EPA) 1995-2004	138
Figura N° 85	Método Q97.5 (Bocatoma EPA) 1995-2004	140
Figura N° 86	Método curva de duración de caudales Q90 (Bocatoma EPA) 1995-2004	141
Figura N° 87	Serie histórica de caudales diarios Navarco 1995-2004	142
Figura N° 88	Serie histórica de caudales mensuales Navarco 1995-2004	143
Figura N° 89	Serie histórica de caudales mensuales Navarco 1995-2004	143
Figura N° 90	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Texas.....	144
Figura N° 91	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Utah.....	145
Figura N° 92	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de NGPRP.....	146
Figura N° 93	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Flow Duration Curves	146
Figura N° 94	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Navarro.....	147
Figura N° 95	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Vasco	148
Figura N° 96	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Tessman.....	148
Figura N° 97	Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Q95.....	149
Figura N° 98	Promedio mensual multianual Navarco	150
Figura N° 99	Comparación de metodologías a escala mensual Navarco	152
Figura N° 100	Comportamiento de las metodologías en cada mes (Navarco) (1)	153
Figura N° 101	Comportamiento de las metodologías en cada mes (Navarco) (2)	154
Figura N° 102	Metodologías a escala anual (Navarco) – Método de Matthey	155

Figura N° 103	Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de DGOH	156
Figura N° 104	Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de Suizo.....	157
Figura N° 105	Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Asturiano	158
Figura N° 106	Promedio multianual (Navarco) 1995 - 2004	159
Figura N° 107	Comparación de metodologías a escala anual (Navarco) 1995 -2004.....	161
Figura N° 108	Comportamiento de las metodologías en cada año (Navarco) 1995 – 2004 (1)..	162
Figura N° 109	Comportamiento de las metodologías en cada año (Navarco) 1995 – 2004 (2).	163
Figura N° 110	Análisis de frecuencias Método del 7Q10 (Navarco) 1995-2004	165
Figura N° 111	Método curva de duración de caudales Q97.5 (Navarco) 1995-2004	167
Figura N° 112	Método curva de duración de caudales Q90 (Navarco) 1995-2004	168
Figura N° 113	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 2) 1995-2004	170
Figura N° 114	Metodología del Q95 (Tramo N° 2) 1995-2004.....	170
Figura N° 115	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 3) 1995-2004	171
Figura N° 116	Metodología del Q95 (Tramo N° 3) 1995-2004.....	171
Figura N° 117	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 4) 1995-2004	174
Figura N° 118	Metodología del Q95 (Tramo N° 4) 1995-2004.....	174
Figura N° 119	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 5) 1995-2004	175
Figura N° 120	Metodología del Q95 (Tramo N° 5) 1995-2004.....	175
Figura N° 121	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 6) 1995-2004	178
Figura N° 122	Metodología del Q95 (Tramo N° 6) 1995-2004.....	178
Figura N° 123	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 7) 1995-2004	179
.....	.....	179
Figura N° 124	Metodología del Q95 (Tramo N° 7) 1995-2004.....	179
Figura N° 125	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 8) 1995-2004	182
Figura N° 126	Metodología del Q95 (Tramo N° 8) 1995-2004.....	182
Figura N° 127	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 9) 1995-2004	183
.....	.....	183
Figura N° 128	Metodología del Q95 (Tramo N° 9) 1995-2004.....	183
Figura N° 129	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 10) 1995-2004	186
Figura N° 130	Metodología del Q95 (Tramo N° 10) 1995-2004.....	186
Figura N° 131	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 11) 1995-2004	187
.....	.....	187
Figura N° 132	Metodología del Q95 (Tramo N° 11) 1995-2004.....	187
Figura N° 133	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 12) 1995-2004	190
.....	.....	190
Figura N° 134	Metodología del Q95 (Tramo N° 12) 1995-2004.....	190
Figura N° 135	Serie histórica de caudales mensuales Tramo N° 13) 1995-2004	191
.....	.....	191
Figura N° 136	Metodología del Q95 (Tramo N° 13) 1995-2004.....	191
.....	.....	192
Figura N° 137	Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 14) 1995-2004	192
.....	.....	192

Figura N° 138	Metodología del Q95 (Tramo N° 14) 1995-2004.....	192
Figura N° 139	Serie histórica de caudales diarios estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004.....	197
Figura N° 140	Serie histórica de caudales estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004	197
Figura N° 141	Serie histórica de caudales mensuales estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004	198
Figura N° 142	Promedio mensual multianual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)	199
Figura N° 143	Comparación de metodologías a escala mensual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)	201
Figura N° 144	Promedio multianual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995 – 2004	202
Figura N° 145	Comparación de metodologías a escala anual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)	203
Figura N° 146	Régimen adoptado de caudales mensuales (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) – Q95.....	204
Figura N° 147	Análisis de frecuencias 7Q10 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)	205
Figura N° 148	Curva de duración de caudales Q97.5 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995-2004.....	206
Figura N° 149	Curva de duración de caudales Q90 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995-2004.....	207
Figura N° 150	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado (aguas abajo de captación) y el caudal ecológico estimado para el punto de Bocatoma EPA.....	209
Figura N° 151	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante y el caudal ecológico estimado para el punto de la Estación de bombeo de EPA (Chagualá).....	211
Figura N° 152	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la Descarga de la PCH Campestre	212
Figura N° 153	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la Bocatoma La Tebaida	214
Figura N° 154	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la PCH La Unión	215
N° 155	Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la confluencia con la quebrada La Florida.....	216

Figura N° 156 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la confluencia con la quebrada El Pescador.....	218
Figura N° 157 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante y el caudal ecológico estimado para el punto de la Estación Limnigráfica Calle Larga.....	220
Figura N° 158 Hidrografía Cuenca Río Quindío (Shape).....	223
Figura N° 159 Subcuencas Río Quindío (Shape).....	224
Figura N° 160 Tramos Río Quindío y Estaciones Climatológicas, Limnigráficas Puntos de captación y Sitios de retorno (Shape).....	226
Figura N° 161 Diseño Tabla Metodologías Escala Mensual (ArcGIS V 9.3).....	227
Figura N° 162 Diseño Tabla Metodologías Escala Anual (ArcGIS V 9.3).....	227
Figura N° 163 Diseño Tabla Metodologías Aplicadas en Colombia (ArcGIS V 9.3).....	228
Figura N° 164 Interface ArcMap(ArcGIS V 9.3).....	229
Figura N° 165 Interface ArcMap-UMC del río Quindío (ArcGIS V 9.3).....	229
Figura N° 166 Tabla de atributos capa Tramos_Río_Quindío(ArcGIS V 9.3).....	230
Figura N° 167 Selección de las tablas con caudales ecológicos (ArcGIS V 9.3).....	231
Figura N° 168 Tabla de caudales ecológicos (ArcGIS V 9.3).....	231
Figura N° 169 Configuración de graficas (ArcGIS V 9.3).....	232
Figura N° 170 Grafico Q_ECO_Mensual(ArcGIS V 9.3).....	233
Figura N° 171 Ventana de configuración de reportes (ArcGIS V 9.3).....	233
Figura N° 172 Presentación reportes de metodologías para la estimación de caudales ecológicos en la UMC del río Quindío (ArcGIS V 9.3).....	235
Figura N° 173 Ventana de Hipervínculos (ArcGIS V 9.3).....	236
Figura N° 174 Resultados caudales ecológicos UMC del río Quindío en MS Excel (ArcGIS V_9.3).....	237



1.0 INTRODUCCIÓN

El agua es objeto de demanda para todas las especies de vida; su cantidad es finita y mucho menor es la cantidad disponible de agua dulce (Lozano, 2005). A esto se le agrega el hecho de que el agua es vital para el desarrollo socioeconómico de una ciudad, desarrollo que en la actualidad no tiene límite y que genera una diversidad de usos que se le da al agua, y que a su vez impulsa al detrimento de la calidad de esta, así como al deterioro paulatino de los demás recursos naturales en una cuenca.

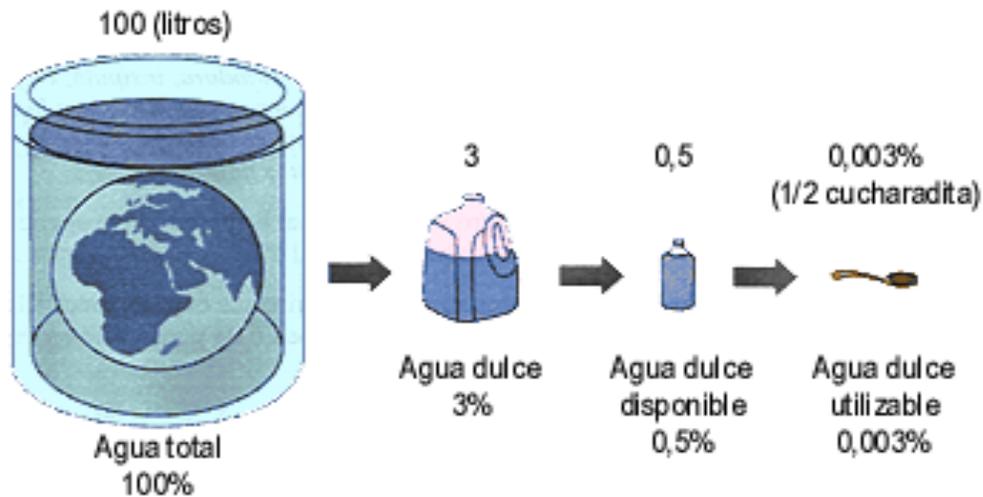


Figura N° 1 Disponibilidad de Agua Dulce (GWP, 2005)

Es así como debido al desarrollo tecnológico y poblacional de las ciudades, la sociedad se ha visto obligada a intervenir de manera imprudente al medio ambiente, más precisamente a las cuencas hidrográficas a partir de la utilización del agua para uso doméstico, industrial, agrícola, eléctrico, entre otros, los cuales de una u otra manera afectan la calidad, cantidad y comportamiento de los cuerpos de agua, al igual que perjudican el ecosistema fluvial allí presente.

Es a partir de esta problemática que en la actualidad ya se piensa en un desarrollo sostenible de las ciudades a partir de la utilización de los recursos naturales, y en caso particular el recurso hídrico, sin llevar a estos a un estado crítico de conservación mediante la planificación y gestión integral del recurso hídrico a partir de una serie de herramientas de apoyo, metodologías, instrumentos económicos y jurídicos que posibilitan la toma de decisiones a la hora de un desarrollo sostenible de una ciudad.

La Asociación Mundial para el Agua (Global WaterPartnership – GWP) define la gestión integrada del agua como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado del agua, la

tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2005).

Uno de los temas relevantes dentro de la gestión integral del recurso hídrico es la determinación de caudales ecológicos o ambientales, el cual se conoce como aquel caudal que se debe dejar correr en una fuente hídrica después de un aprovechamiento hídrico (modificación del régimen natural) para mantener las funciones y dinámicas ecológicas de las diferentes comunidades bióticas presentes en un ecosistema fluvial (Palau, 1994, citado en Lozano, 2005). Dichos caudales se obtienen a partir de distintas metodologías creadas en distintas partes del mundo según las características morfológicas, hidrológicas, hidráulicas, físicas y biológicas de cada región.

El estudio de estimación de caudales ecológicos es incipiente en Colombia (algunas propuestas del IDEAM, EPM, Universidad del Valle) y en varios países Latinoamericanos; muchas de las concesiones de agua a usuarios que otorgan las autoridades encargadas de administrar los recursos hídricos, carecen de un estudio hidrológico adecuado y mucho menos de la estimación de un caudal ecológico aguas abajo de cada aprovechamiento. En el caso particular de la UMC Río Quindío, existen varios aprovechamientos del recurso hídrico a lo largo de este, principalmente para uso doméstico, generación de energía, e industria; los cuales en algunos periodos secos del año requieren un caudal considerable poniendo en riesgo al ecosistema y a la cinética propia del río aguas abajo de estas captaciones.

En este proyecto se hará la aplicación de las diferentes metodologías de caudales ecológicos (actualmente llamados caudales ambientales) para la UMC Río Quindío teniendo en cuenta los usos del agua actuales en el departamento y visualizando el futuro del recurso hídrico en este, contemplando la posibilidad de tener una nueva extracción de agua con la estación de bombeo de las Empresas Públicas de Armenia (EPA).



2.0 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar un estudio sobre la determinación de Caudales Ecológicos en la UMC río Quindío, haciendo énfasis en métodos hidrológicos e hidráulicos para su estimación, como apoyo a la toma de decisiones en la Planificación y Gestión del Recurso Hídrico en dicha cuenca.

2.2 Objetivos Específicos

- Contribuir a la toma de decisiones en la Planificación y Gestión de Recursos Hídricos, garantizando el buen estado ecológico de un río o cuenca hidrográfica.
- Recolectar, procesar y clasificar la información hidrológica en las estaciones de la cuenca.
- Recopilación de Metodologías de caudales Ecológicos implementados en Colombia
- Identificar y cuantificar las extracciones representativas del recurso hídrico en la UMC Río Quindío, tales como: abastecimiento para las ciudades de Armenia, Circasia, La Tebaida, pequeñas Centrales Hidroeléctricas, entre otros usos del agua.
- Restitución de caudales a régimen natural de la UMC Río Quindío.



3.0 MARCO CONCEPTUAL

3.1 CAUDAL ECOLÓGICO

Un caudal circulante por un cauce puede ser considerado ecológico si asegura el mantenimiento del patrimonio hidrobiológico y sociocultural del medio fluvial, de forma compatible con la necesidad de abastecimiento doméstico y de suministro agrícola e industrial. Además, deberá ser representativo de la variabilidad natural del régimen de caudales del río y habrá de contemplar el correcto funcionamiento de las diversas componentes asociadas al ecosistema fluvial, entre las que cabe resaltar la flora y fauna propias del mismo, la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas, el dinámico equilibrio geomorfológico del sistema o el conjunto de valores sociales, económicos, culturales y paisajístico del río. En este sentido, el referido caudal ecológico deberá estar acompañado de un conjunto de criterios e indicadores que constituyan programas de vigilancia y seguimiento de los requerimientos básicos definidos con anterioridad (MAGDALENO, 2005).

La determinación de un caudal ecológico requiere la adopción de diferentes objetivos y escenarios que ayuden a los gestores a decidir sobre el umbral mínimo requerido para el correcto funcionamiento de sistema (DYSON *et al.*, 2003). Ante el gran número de procesos integrados en el medio fluvial, se requiere la intervención de equipos multidisciplinarios y de representantes de los sectores implicados en su gestión, con el fin de consensuar un régimen de caudales ambientales que sea comprendido y asumido por todos ellos y, por tanto, y en último término, por el conjunto de la sociedad (KING *et al.*, 1998).

3.2 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Para la estimación de caudales mínimos o ecológicos existe una gran variedad tanto de enfoques, como de métodos, por lo cual, no se puede precisar a ciencia cierta, que la aplicación de un método determinado, es la verdad absoluta en cuanto a la cantidad de agua que requiere un ecosistema fluvial. Dado ese gran abanico de enfoques y métodos, se puede llegar a dar un valor aproximado de caudal ecológico mediante la aplicación algún método empírico, para ello se usan expresiones matemáticas o porcentajes, que se aproximen a las necesidades propias de un ecosistema, por ejemplo, mediante métodos holísticos, entre otros. La variación temporal también distingue a los diferentes métodos: algunos se limitan a dar un valor de un caudal constante como mínimo para un tramo o sector de un río, otros permiten estimar un "Régimen Ambiental de Caudales", en el cual, se dan valores medios para los diferentes meses del año e incluso a nivel diario (LOZANO, 2005).

Según las revisiones de Magdaleno, 2004; Tharme, 2003; Palau, 2003; Mayo, 2002; Hidrotécnica Portuguesa *et. al*, 1999; básicamente existen cinco enfoques o métodos, dentro de los cuales, aparecen las diferentes metodologías para la estimación, determinación o cálculo de los caudales ecológicos (mínimos o de mantenimiento)(LOZANO, 2005):

- Métodos o enfoque hidrológico
- Métodos o enfoque hidráulico
- Métodos o enfoque hidrobiológico (simulación de hábitat)
- Métodos o enfoque holístico
- Métodos o enfoque ecohidrológico

3.2.1 Métodos hidrológicos

En estos métodos, el caudal ecológico se deduce a partir de datos hidrológicos tratados mediante diversos mecanismos (caudales clasificados, porcentajes del caudal medio, análisis de series temporales, etc.). Pueden incorporar diversas fórmulas e índices hidrológicos, variables propias de la cuenca, o consideraciones hidráulicas, biológicas y/o geomorfológicas. Los índices utilizados se eligen a partir de una combinación de análisis estadísticos y observaciones directas en ríos de similares condiciones hidrológicas y/o ecológicas (MAGDALENO, 2005).

Los métodos hidrológicos se pueden considerar como los más versátiles, dado que son aplicables a distintas escalas, desde la planificación hidrológica hasta la gestión de tramos concretos. Por esta razón, fueron posiblemente los más difundidos en los albores de la utilización y cálculo de los caudales ecológicos (MAGDALENO, 2005).

3.2.1.1 Método de Matthey

El método de Matthey consiste en estimar el caudal mínimo a partir de aquel caudal que circula al menos durante trescientos días al año (Q_{300} : caudal superado en 300 días del año, obtenido a partir de la curva de caudales clasificados).

3.2.1.2 Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH)

En España, la DGOH determina el caudal mínimo permanente igual al 10% del caudal medio interanual.

3.2.1.3 Método Suizo

La legislación Suiza se basa en un método que utiliza fórmulas empíricas para la cuantificación del caudal mínimo. Para el establecimiento del caudal mínimo se hace una distinción entre aguas

piscícolas y no piscícolas (o bien aguas sin interés piscícola aunque tengan peces, por las escasas dimensiones de los cauces).

3.2.1.4 Método de Texas

El método de Texas define un porcentaje variable de la mediana mensual, de forma que se consideren las características hidrológicas y biológicas de los cursos de agua no salmonícolas, considerando determinadas especies líticas como especies indicadoras, y un índice hidrológico que refleje el régimen de caudales del curso de agua (MAGDALENO, 2005). Otros factores que también se consideran son las diferencias regionales a nivel de la diversidad específica, los estadísticos de medida de la tendencia central de los registros históricos de caudales y la mimetización del patrón zonal de distribución de caudales (MATTHEWS JR. & BAO, 1991).

3.2.1.5 Método de Utah

Este método utiliza los mínimos mensuales históricos, determinando un régimen de caudales con carácter mensual, en el que el caudal mínimo de cada mes es el mínimo registrado en una serie suficientemente larga de años (LOZANO, 2005).

3.2.1.6 Método NGPRP (Programa de recursos de las Grandes Llanuras de EE.UU)

El método NGPRP (*Northern Great Plains Resource Program*, USA 1974), utiliza registros históricos de caudales medios mensuales y define tres grupos, en función de ciertas probabilidades de excedencia: caudales bajos, caudales normales y caudales altos. El régimen de caudales ambientales final se obtiene como la serie de caudales ecológicos para cada mes (LOZANO, 2005).

3.2.1.7 Método de Hoppe

Está basado en curvas de duración de caudales y en los requerimientos biológicos de las poblaciones piscícolas, expresados a través de las necesidades de las poblaciones de truchas de ríos en el estado de Colorado, EE.UU (HOPPE, 1975). Supone una de las primeras etapas en el desarrollo de estos métodos en la que se reconoce la relación entre los percentiles de una curva de duración de caudales y distintas condiciones favorables para la supervivencia de determinadas comunidades biológicas. El método establece tres niveles de caudales importantes para las poblaciones piscícolas, según tres objetivos básicos: alimento y refugio, reproducción y regeneración del cauce; que define como caudales que son igualados o superados durante un periodo de tiempo determinado.

3.2.1.8 Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves)

El método básico consiste en el análisis de frecuencia de caudales en cada mes del año, utilizando datos diarios. El caudal es diferente para cada uno de los meses del año, determinándose en realidad un régimen de caudales, lo que ya supone un avance considerable con respecto al mantenimiento de un caudal fijo en toda época (LOZANO, 2005).

3.2.1.9 Método Asturiano

La normativa asturiana establece tres niveles de protección de los cauces, basando el cálculo del caudal mínimo en el método suizo. El caudal mínimo se calcula a partir del Q_{347} , obtenido mediante la fórmula aceptada por la legislación Suiza antes mencionada.

3.2.1.10 Método Navarro

La normativa Navarra obtiene el caudal mínimo, inspirándose tanto en la ley suiza como en la francesa. Se hace una distinción en función de que las poblaciones piscícolas sean de salmónidos o de ciprínidos.

3.2.1.11 Método Vasco

El método se basa en el mantenimiento de la diversidad ecológica. La diversidad se mide por el número de taxones de la comunidad de macro invertebrados bentónicos, pero a pesar de este componente biológico, básicamente es un método matemático. En efecto, el método se basa en el análisis de las series de datos foronómicos, de datos pluviométricos y de calidad de las aguas, considerando la contaminación química e identificando las posibles agresiones al medio fluvial. En la aplicación del método se obtienen las relaciones existentes entre superficie de cuenca vertiente, caudal y otros parámetros hidráulicos con el número de taxones de macroinvertebrados existentes en el tramo considerado.

El caudal ecológico "aconsejable" determinado por este método es un caudal de base que, debe mantenerse todo el año y que no debe disminuir salvo casos excepcionales (por ejemplo, sequía prolongada) (LOZANO, 2005).

3.2.1.12 Método del 7Q10

El caudal ecológico es el valor correspondiente al caudal mínimo medio de siete días consecutivos, para un periodo de retorno de 10 años (MAGDALENO, 2005).

3.2.1.13 Método del Q95

Se refiere al caudal que tiene un 95 % de posibilidad de ser igualado o superado a escala anual.

3.2.2 Métodos hidráulicos

Los conocidos como métodos hidráulicos emplean los cambios ocurridos en variables hidráulicas sencillas (perímetro mojado, calado máximo, velocidad media) medidas, generalmente, en una o varias secciones, a partir de los cambios de caudal, para establecer relaciones con los factores relacionados con el hábitat de las especies objetivo que son considerados como limitantes para ellas. Las secciones son emplazadas en lugares donde el mantenimiento de los caudales se considera más crítico o donde los hábitats son más sensibles a la reducción de estos caudales (MAGDALENO, 2005).

3.2.2.1 Método de Tennant o Montana

El método de Tennant ha sido desarrollado y puesto a punto por hidrobiólogos del estado de Montana partiendo de datos de once ríos (Elser, 1972; Tennant, 1974, 1976) con poblaciones de salmónidos y de ciprínidos, se basa en la hipótesis de que *"las condiciones de hábitat para la vida piscícola son cualitativamente muy parecidas en una corriente de agua o en otra para un mismo porcentaje del caudal medio anual"*. En su aplicación se estudian tres variables hidráulicas, consideradas fundamentales en la capacidad de acogida del medio para las especies piscícolas; éstas son: el porcentaje de perímetro mojado con respecto a la anchura del lecho, la profundidad y la velocidad medio (LOZANO, 2005).

3.2.2.2 Método de Montana

El método de Montana es una simplificación del método de Tennant y se aplica de una forma más sencilla, considerando sólo tres caudales obtenidos del módulo interanual (Q_{an}) (LOZANO, 2005).

3.2.2.3 Método de Tessman

Este método es a su vez, una modificación del método de Montana (Bozeman, 1976), y así es conocido (Método de Tennant modificado). Estima los caudales mínimos comparando un porcentaje determinado del caudal medio interanual (Q_{an}) con el caudal medio mensual (Q_{mes}). Pueden utilizarse caudales diarios o mensuales, en este último caso los valores finales obtenidos son algo más altos. Presenta una mejora con respecto al método de Tennant, al calcular caudales mínimos para cada mes del año (LOZANO, 2005).

4.0 METODOLOGÍA

Para estimar los caudales ecológicos para la UMC Río Quindío se siguió la metodología presentada a continuación:

4.1 Fase I: PRELIMINARES

- Revisión bibliográfica: la bibliografía fue un elemento indispensable durante el desarrollo del proyecto. El registro bibliográfico permitió establecer que metodologías han sido utilizadas en el país, además de identificar metodologías aplicadas en diferentes lugares del mundo, de esta manera se pudo hacer una comparación con diversas investigaciones realizadas en otras cuencas.
- Recopilación de la información requerida: En el proyecto se utilizó información hidrometeorológica de los años de estudio contenida en los archivos de la CRQ, Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P) y la Empresa Multipropósito de Calarcá E.S.P.
- Reconocimiento del sitio de estudio: Se realizaron salidas de campo para tomar información primaria del cauce del río, mediante aforos realizados en diferentes puntos. Cabe resaltar que estos aforos se realizaron en temporadas de sequía, debido a que es en esta donde se dan los caudales más bajos. Esta información se utilizó para poder determinar los caudales ecológicos en los puntos de aforo, como también calibrar el modelo lluvia escurrentía.

4.2 Fase II: ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

- Digitalización de la información: Se adecuó la información que se encontraba en formato físico y se digitalizó, para facilitar el manejo de esta.
- Completado de datos: En la revisión de la información se encontraron algunas estaciones incompletas en lo referente a los datos de estudio, por lo cual fue necesario utilizar métodos estadísticos apoyados en una hoja de cálculo, para hacer su completado y permitir su posterior procesamiento.

4.3 Fase III: RESTITUCION A REGIMEN NATURAL.

- Construcción del modelo hidrológico de la UMC Río Quindío mediante la herramienta Hidroinformática SSD WEAP.
- Ejecución y calibración del modelo hidrológico de la UMC Río Quindío.
- Restitución del régimen natural de caudales de la UMC Río Quindío.

4.4 Fase IV: METODOS DE ESTIMACION DE CAUDALES ECOLÓGICOS

Para el proceso de estimación del caudal ecológico se utilizan métodos matemáticos o estadísticos, mediante datos hidrológicos procesados de diversas formas como: caudales clasificados, porcentajes de caudales medios o análisis de series temporales, entre otros.

Los métodos hidrológicos implementados en este estudio han sido utilizados en diferentes ríos del mundo. Para estimar el caudal ecológico, los métodos fueron aplicados al régimen natural del río Quindío (antes de la alteración del régimen de caudales por la construcción de obras hidráulicas para el aprovechamiento del recurso hídrico en la cuenca).

- Caudales Q_{347} y Q_{300}
- Mathey
- DGOH España.
- Suizo
- Método Tennant o montana
- Montana (Bozeman)
- Tessman Tennant Modificado
- Arkansas
- Texas
- Utah
- Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte de EE.UU (NGPRP)
- Hoppe
- Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves)
- Asturiano
- Navarro
- Vasco

- 7Q10
- Q95
- Método del IDEAM (2004)
- Método del ENA Q97.5 (2004)
- Método Proyecto Ley de aguas (2005)

4.5 Fase V: ANALISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos de los diferentes métodos de cálculo, se determinó los métodos más aptos y que permiten un mejor comportamiento de las diferentes características hidrológicas, hidráulicas y de hábitad de la UMC Río Quindío.



5.0 CASO DE ESTUDIO

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Quindío es uno de los dos ríos principales que conforman el Río La Vieja, gran eje fluvial, asiento de poblaciones en la región cafetera de Colombia. La UMC está ubicada en el centro-occidente de Colombia en jurisdicción del departamento del Quindío, integrado por 5 municipios del Departamento del Quindío, los cuales son. Armenia (Eje Oriental), Calarcá, Salento, Córdoba y Buenavista.¹



Figura N° 2. Localización del Área de Estudio

NORTE	4° 43' 15" Lat. N.	75° 23' 35" Long. W
ESTE	4° 42' 32" Lat. N.	75° 25' 45" Long. W
SUR	4° 23' 10" Lat. N.	75° 48' 32" Long. W
OESTE	4° 19' 10" Lat. N.	75° 44' 40" Long. W

Tabla N° 1 Coordenadas geográficas de la UMC del río Quindío
Fuente. CRQ e Informe modelación Río Quindío Fase 2.

¹ POMCH UMC río Quindío, CRQ, 2008

El cauce principal de esta UMC (Río Quindío) nace en el nevado El Quindío (3780 m.s.n.m) al noreste del departamento, recorre 65.35 Km de longitud hasta llegar a su desembocadura a 1040 (msnm).

Entre los municipios de Salento y Armenia el río Quindío recibe las aguas del río Navarco, el cual tiene como afluentes el Río Boquerón y las quebradas. La Mina, Los Patos, Santa Librada, y San Julián; las quebradas. Cusumbo, Chagualá, Castillo, La Duquesa, y La Florida (zona urbana de Armenia) desembocan directamente en el Río Quindío. Provenientes del municipio de Calarcá las quebradas El Pescador y La Bella, del municipio de Córdoba, Río Verde y la quebrada La Española, y del municipio de Buenavista las quebradas La Picota y Los Juanes; todas éstas, desembocando en el río con un gran número de pequeñas quebradas.

5.1.1 POBLACIÓN Y PARTICIPACIÓN TERRITORIAL

La UMC Río Quindío está constituida por cinco (5) municipios a lo largo y ancho de esta, los cuales son: Salento, Armenia, Calarcá, Buenavista y Córdoba. Hay dos (2) municipios que se benefician del Río Quindío pero no pertenecen a dicha UMC los cuales son Circasia y La Tebaida.

POBLACIÓN CENSO DANE 2005		
MUNICIPIO	POBLACIÓN CABECERA	POBLACIÓN RESTO
SALENTO	3494	3507
ARMENIA	265020	7554
CIRCASIA	19543	7162
CALARCÁ	54634	16966
BUENAVISTA	1173	1781
CORDOBA	2897	2341
LA TEBAIDA	29955	2793

Tabla N° 2. Población de municipios pertenecientes a la UMC Río Quindío para el año 2005
Fuente: DANE, 2005

La población total para la UMC es de **94713 habitantes**, correspondiéndole a Buenavista 3.11%, Armenia 5.78%, Calarcá el 75.60%, Córdoba 5.53% y a Salento el 9.98% del total.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

EXTENSIÓN TERRITORIAL DE LA UMC RÍO QUINDÍO			
MUNICIPIOS	ÁREA DEL MUNICIPIO	AREA DENTRO DE LA UMC	
	Ha	Ha	%
Armenia	12133	1742	2.45
Buenavista	4112	4054	5.7
Calarcá	21923	21737	30.6
Córdoba	9585	9085	12.8
Salento	36283	34427	48.45
Total	84036	71045	100

Tabla N° 3. Extensión de la UMC del río la Quindío por departamento y municipios que la conforman
Fuente: Planeación CRQ Documento (UMC's Municipios)

Algunas de las corrientes hídricas que pertenecen a la UMC Río Quindío se muestran a continuación en la Tabla N° 4. Corrientes hídricas pertenecientes a la UMC Río Quindío Tabla N° 4.

UMC	AREA UMC(Km2.)	RELACIÓN CORRIENTES HASTA RÍO PRINCIPAL*	MUNICIPIOS QUE INTEGRAN LA UMC
UMC RIO QUINDIO	42,63	Q. La Picota	Salento, Calarcá, Armenia, Córdoba y Buenavista
	122,88	R. Verde	
	151,99	R. Santo Domingo	
	74,15	R. Navarco	
	50,68	R. Boquerón	
	276,6	R. Quindío	
	718,93		

Tabla N° 4. Corrientes hídricas pertenecientes a la UMC Río Quindío
Fuente: PAT 2007-2009.

5.1.2 GEOMORFOLOGÍA

Las características geomorfológicas del departamento del Quindío están reflejadas claramente en procesos de origen endógeno, representados por movimientos orogénicos y epirogénicos, producto del levantamiento de la cordillera central y la actividad volcánica sobre la cima de la misma. También reflejan la presencia de grandes sistemas de fallas y fracturas como resultado de la actividad tectónica desarrollada durante las orogenias del paleozoico, cretácico y terciario.

Existen geformas producto de los procesos de carácter exógeno como la erosión geológica, acción glacial y la acción hidrogravitacional. Desde las partes altas de la cordillera central, gran cantidad de materiales han sido transportados y sedimentados en las partes más bajas, dando origen a geformas conocidas como piedemonte y valles.²

En la Cuenca se distinguen tres grandes paisajes. Montaña, Piedemonte y Valle. El primero está representado por el flanco occidental de la cordillera Central, entre los 1.500 y los 4.500 m.s.n.m; presenta un relieve quebrado a escarpado y muy disectado, conformado por rocas ígneas, metamórfica y sedimentarias muy fracturadas y disectadas; está integrado por varios tipos de relieves tales como cono volcánico, coladas de lava, filas y vigas generalmente cubiertos por espesos depósitos de ceniza, provenientes de las erupciones más recientes del Volcán-Nevado del Ruiz. Los materiales geológicos están constituidos especialmente por rocas metamórficas e ígneas (principalmente de peridotitos, diabasas y serpentina; y de esquistos, anfibolitas y gneises), cubiertas en su mayor parte con cenizas volcánicas en las zonas de menor pendiente, encontrándose predominantemente un tipo de relieve de filas y vigas.

El paisaje de Piedemonte está representado por un extenso y espeso depósito de origen fluvio-volcánico y fluvio-glacial con pendientes suavemente inclinadas, parcialmente disectado. Presenta un ápice localizado sobre la parte alta próxima al cono volcánico del Quindío y se extiende a todo lo largo y ancho del extremo occidental y noroccidental de la Cuenca, hasta el valle del río La Vieja. Está conformado por los tipos de relieve denominados colinas, lomas, abanico torrencial y vallecitos. Fue formado por el flujo de materiales de origen volcánico proveniente del Volcán del Quindío que posteriormente fueron cubiertos por mantos espesos de cenizas volcánicas.

El paisaje de Valle lo integran los tipos de relieve denominados vegas y terrazas asociadas principalmente a los ríos Quindío, Barragán y, por consiguiente, a La Vieja en la parte baja. Tales tipos de relieve están constituidos por depósitos no consolidados de bloques, gravas, arenas y limos, embebidos en material areno-gravoso.

5.1.3 GEOLOGÍA

En la zona de estudio afloran unidades geológicas de origen oceánico y continental, de edades paleozoicas y mesozoicas, intruídas por ígneos del mesozoico tardío y supra yacidas por secuencias sedimentarias terciarias. Estas unidades, que conforman el basamento en la región, están separadas por grandes fallamientos regionales y están cubiertas por una gran unidad fluvio-volcánica de edad cuaternaria, el Abanico del Quindío, y por unidades cuaternarias locales.

Las unidades paleozoicas y mesozoicas son. El complejo Ígneo de Córdoba. Las unidades no intrusivas presentan continuidad a lo largo de la Cordillera Central, en fajas de orientación NE limitadas por grandes fallas regionales, desde Nariño hasta Antioquia.

² Caracterización Social, Ambiental, y Productiva e Identificación de los Actores del Sector Forestal de los Departamentos del Eje Cafetero, Antioquia, Tolima y Valle del Cauca.

5.1.3.1 Geología por municipios

Buenavista: Es un Municipio caracterizado por pendientes correspondiente a la parte media alta de la vertiente occidental; el suelo está conformado por rocas ígneas y metamórficas con presencia de sedimentarias recubiertas de depósitos piroclásticos.

Calarcá: En la zona centro occidental y sur del municipio de Calarcá, geológicamente constituida por los depósitos fluviovolcánicos del Glacis del Quindío y localmente depósitos de caída piroclástica (cenizas volcánicas) y depósitos aluviales del cuaternario, tendría moderada probabilidad de afectación por sismos generados en focos lejanos (zonas de subducción) y fuentes por fuera del departamento del Quindío.

Córdoba: El municipio de Córdoba En cuanto a la geología estructural, se encuentra localizado dentro de la zona de influencia del Sistema Romeral, específicamente en el de las Fallas Silvia-Pijao, al cual según estudios, se le ha asignado la mayor cantidad de sismos, detectándose la existencia de actividad tectónica. Dentro de éste, se distinguen cuatro geoestructuras muy bien definidas como la falla del Salado, ubicada en dirección N-S, con buzamientos mayores de 70°; su trazo pasa por las fincas Pinares, La Betulia, Ventiaderos, La Botánica y la quebrada El Cedral.

Salento: La falla Navarco se encuentra localizada en la parte central del municipio, en dirección N25°E a N15°E, con buzamientos entre 65° y 80° al Este. La falla Córdoba está ubicada al oeste del río Verde en dirección N5°E a N10°E, con buzamientos entre 75° y 85° al Este. Ambas son fallas inversas y presentan tramos con evidencias de actividad neotectónica. Paralelos al trazo de las fallas se presentan lineamientos de gran longitud; para la falla El Salado existen dos con dirección NE y para la falla de Córdoba NS.

En el municipio de Salento está conformada principalmente por rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias del Paleozoico, Cretácico y Terciario, plegadas, fracturadas y cubiertas por espesos depósitos cuaternarios de origen fluviovolcánico, fluvioglacial y fluvicolumial, dominando las coberturas de material piroclástico y de cenizas.

Armenia: El contexto geológico de Armenia, corresponde a unidades geológicas conocidas para el departamento del Quindío. La unidad geológica más representativa es Glacis del Quindío, ahora Abanico Quindío (T-Q), esta cubre el 35% del área del departamento y su origen se relaciona con la actividad de los volcanes Nevado del Quindío, Nevado de Santa Isabel y Cerro Santa Rosa y los ríos que drenan el área.

- La estratigrafía y la tectónica del área urbana y suburbana de la ciudad de Armenia es importante debido a su influencia en el comportamiento general de las ondas sísmicas,

grado de severidad de daños en estructuras durante un evento de este tipo, estabilidad del terreno y demás aspectos geotécnicos, que son tratados en el proceso de planificación territorial, preferiblemente después del terremoto de 1999.

5.1.4 CLIMA

5.1.4.1 Clasificación climática

El departamento se caracteriza por poseer diversidad de pisos térmicos, pero con un denominador común que es la alta pluviosidad en todos ellos, con una pequeña área de clima medio húmedo transicional a medio seco, situado al noroccidente del departamento, en cercanías del Río La Vieja. Según el sistema climático basado en pisos térmicos y condiciones de humedad en el departamento del Quindío se encuentran las siguientes unidades climáticas.⁷

En la Tabla N° 5 se muestra la clasificación climática del departamento del Quindío.

5.1.4.2 Sistema hidrológico

5.1.4.2.1 Información disponible

Para el desarrollo de este estudio se utilizó la información de las estaciones hidrometeorológicas de la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ), tanto las estaciones hidrológicas e hidrográficas como también las estaciones limnimétricas y limnigráficas ubicadas a lo largo de la UMC Río Quindío. En las Tabla N° 6 y Tabla N° 7 se muestran las estaciones hidrometeorológicas y limnigráficas utilizadas en el desarrollo de este proyecto.



ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

TIPO DE CLIMA	UBICACIÓN	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA (°C)	PRECIP (mm)	CARACTERÍSTICAS
SUBNIVAL Y PLUVIAL	Cono y ladera del volcán del Quindío	4000-4800	1.5-6	1000-2000	Cima cubierta de nieve durante los meses más fríos
EXTREMADAMENTE FRÍO PLUVIAL	Oriente del departamento	3500-4000	6-9	2000-4000	No apta para la actividad agropecuaria por las condiciones geológicas y climáticas
MUY FRÍO Y PLUVIAL	Localizado al oriente del dpto en una franja que limita con el dpto del Tolima	3000-3500	9-12	2000-4000	Zonas condicionadas por la neblina constante y por los vientos. La humedad y la neblina no solo son originadas por las precipitaciones abundantes, sino también por la alta transpiración producida por la vegetación arbustiva que subsiste en algunos sectores
FRÍO Y HÚMEDO	Zona que se extiende de norte a sur en el dpto y al oriente de las localidades de Filandia, Salento, Córdoba, Pijao y Génova	2000-3000	12-18	2000-4000	
MEDIO, HÚMEDO Y MUY HÚMEDO	Zona central del dpto, Mpios de Quimbaya, Montenegro, Circasia, Calarcá, Pijao, Génova y la ciudad de Armenia	1300-2000	18-24	2000-4000	
MEDIO, HÚMEDO TRANSICIONAL A MEDIO SECO	Situados al occidente del dpto en el valle del Río La Vieja, zona que limita con el dpto del valle del Cauca	1000-1300	18-24	1000-2000	

Tabla N° 5. Unidades climáticas del departamento del Quindío

Fuente: Evaluación preliminar del estado de los Recursos Naturales en el Departamento del Quindío. CRQ. 2001

NOMBRE	SUBUMC	MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
			Latitud - Norte	Longitud - Este	m.s.n.m.
Centro de La Guadua	Río Verde	Córdoba	04° 24,7'	75° 42,57'	1212
Navarco	Río Navarco	Salento	04° 29' 02"	75° 33' 18"	2860
La Playa	Río Quindío	Salento	04° 38'	75° 35'	1880
El Bosque	Río Quindío	Salento	849.135	1.006.395	3160
Eden	Río Quindío	La Tebaida	985025,35	812088,87	1216
La Picota	Río Quindío	Salento	04° 39'	75° 28'	2680
Calle Larga	Río Quindío	Calarcá	979.45	1.146.280	1035
Bocatoma EPA	Río Quindío	Salento	1.003.507	1.164.401	1530
La Sierra	Río Lejos	Pijao	04° 20' 29"	75° 41' 02"	1900

Tabla N° 6. Estaciones Hidrometeorológicas UMC Río Quindío - Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ
Fuente: Tomado y modificado de Equipo Operativo POMCH río La Vieja, con base en. CRQ, "Gestión Inter corporativa para la Formulación de Lineamientos de Manejo del Recurso Hídrico en la UMC" 2003

NOMBRE	SUBUMC	MUNICIPIO	COORDENADAS		ELEV.
			Latitud	Longitud	m.s.n.m.
Centro de La Guadua	Río Verde	Córdoba	04° 24,7'	75° 42,57'	1212
Navarco Palestina baja	Río Navarco	Salento	04° 29' 02"	75° 33' 18"	2860
Calle Larga	Río Quindío	Calarcá	979.45	1.146.280	1035
Bocatoma EPA	Río Quindío	Salento	1.003.507	1.164.401	1530

Tabla N° 7. Estaciones limnigráficas UMC Río Quindío - Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ
Fuente: Tomado y modificado de Equipo Operativo POMCH río La Vieja, con base en. CRQ, "Gestión Inter corporativa para la Formulación de Lineamientos de Manejo del Recurso Hídrico en la UMC" 2003

A partir de los datos obtenidos de las estaciones limnigráficas se desarrollan las diferentes metodologías para obtener los caudales ecológicos en los puntos donde se ubican dichas estaciones. La importancia de estas estaciones es que poseen información mucho más precisa del comportamiento real de los cuerpos de agua, y serán estas la base fundamental para obtener un criterio mejor argumentado de los caudales ecológicos que se deben dejar en cada uno de los puntos. En este proyecto tienen mayor significancia las estaciones de la bocatoma EPA y Palestina Baja por ser puntos estratégicos para el desarrollo socioeconómico del departamento.

5.1.4.3 Oferta hídrica superficial

La red hidrográfica del departamento es bastante densa y sus caudales no son abundantes. Esta red se extiende sobre un modelado de cenizas volcánicas y recorre diferentes pisos térmicos desde las nieves ocasionales, en el volcán del Quindío, hasta las zonas de clima medio húmedo transicional a medio seco en el Valle del río La Vieja; toda la red de drenaje del departamento pertenece a esta cuenca.

Entre los principales ríos se mencionan el Quindío y el Barragán, los cuales con sus numerosos afluentes, al unirse forman el río La Vieja al occidente del departamento, vertiendo sus aguas finalmente al río Cauca, al noroccidente del municipio de Cartago en el Valle del Cauca.³

³TOMADO Y MODIFICADO DE CARACTERIZACIÓN SOCIAL, AMBIENTAL Y PRODUCTIVA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ACTORES DEL SECTOR FORESTAL DE LOS DEPARTAMENTOS DEL EJE CAFETERO ANTIOQUIA, TOLIMA Y VALLE DEL CAUCA

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

MUNICIPIO	SUBCUENCAS
Armenia	R. Quindío, R. Espejo, Q. Cristales
Buenavista	Q. La Picota
Calarcá	R. Quindío, R. Santo Domingo, R. Verde, R. Barragán
Circasia	R. Espejo, R. Roble
Córdoba	R. Verde
Filandia	R. Barbas, R. Roble, Q. Buenavista
Génova	R. Rojo, R. San Juan, R. Gris, R. Barragán
La Tebaida	Q. Cristales, R. La Vieja
Montenegro	R. Espejo, R. Roble, R. La Vieja
Pijao	R. Lejos, R. Azul, R. Barragán
Quimbaya	Q. Buenavista, R. Roble, R. La Vieja
Salento	R. Quindío, R. Boquerón, R. Navarco

Tabla N° 8. Municipios del Quindío y subcuencas que abarcan.

Fuente: Tomado y modificado de Equipo Operativo POMCH río La Vieja, con base en. CRQ "Diagnóstico ambiental del río La Vieja. 2002"

Según la dinámica y características de las fuentes hídricas, se muestra los estimativos de la oferta, caudal medio y rendimiento del recurso:

FUENTE	CAUDAL M³/seg.	OFERTA Mm³/año	ÁREA Km²	RENDIMIENTO L/seg/km²
Río Quindío	5.94	187.32	276.6	21.48
Río Navarco	3.7	116.68	74.15	49.9
Río Boquerón	0.55	17.34	50.68	10.85
Río Verde	1.8	56.76	122.82	14.66
Río Santo Domingo	3.3	104.07	151.99	21.71
Q/da La Picota	1.87	58.97	42.63	43.87

Tabla N° 9. Caudal, oferta y rendimiento promedio de subcuencas y áreas de escurrimiento en la UMC Río Quindío.

Fuente: Tomado y modificado de Equipo Operativo POMCH río La Vieja, con base en. CRQ, "Gestión Inter corporativa para la Formulación de Lineamientos de Manejo del Recurso Hídrico en la UMC" 2003

El río de mayor oferta hídrica dentro del sistema es el Quindío (187,32 Mm³) y su rendimiento por kilómetro cuadrado (276,6 Km²) es de 21,48 L/s/km² y la fuente de menor oferta hídrica (4,57Mm³) es la quebrada El Loro con un área de 7,2 km² y un rendimiento de 18,31 L/s/km².

5.1.4.4 Oferta hídrica subterránea

La UMC Río Quindío posee un gran potencial de recurso hídrico subterráneo por la existencia del Paisaje de Montaña al oriente, que determina la presencia de numerosas fuentes superficiales, que aunado a las características geológicas, permite deducir la presencia de intersticios o espacios capaces de almacenar agua que alimente los acuíferos. En el área se delimitan tres sistemas de acuíferos constituidos por sedimentos y rocas semiconsolidadas del Cuaternario denominados Depósitos no consolidados de ceniza y flujos de lodos volcánicos (conforman el Glacis del Quindío -TQ), Depósitos de terraza aluvial (QTa) y depósitos de llanura aluvial (Qal).

El sistema acuífero de mayor importancia hidrogeológica corresponde al Glacis del Quindío que se extienden del nororiente (Pereira, Filandia y Salento) al occidente (de La Tebaida y Caicedonia a Alcalá y Pereira); el segundo sistema acuífero en orden de importancia está representado por los Depósitos de llanura aluvial (Qal) localizados principalmente en la planicie de inundación del río Barragán y la Vieja. Es importante considerar que la información sobre acuíferos aún es limitada, pues los estudios semidetallado de exploración y evaluación del Glacis del Quindío cubren tan solo del 15 a 20% del área (800 Km.² aproximadamente).

5.1.4.5 Demanda hídrica

La demanda hídrica está sujeta a las concesiones de agua que existen a lo largo del río Quindío para los diferentes usos que se le dan a esta. El mayor volumen de agua se utiliza en las actividades agropecuarias; no obstante, su uso crítico tiene que ver con el abastecimiento de agua potable para la población, los procesos industriales y la generación de energía eléctrica.

5.1.5 CONCESIONES

De las concesiones en el Quindío, Calarcá presenta la mayor demanda con 8.467,49 L/s, seguido de Armenia con 5.261,49 L/s. Las mayores demandas de agua son para generación de energía eléctrica (plantas “El Bosque” de Armenia con 3.500 L/s y “Campestre”, “Bayona” y “La Unión” de Calarcá con 2700 L/s) y para el acueducto de Armenia con 1.500 L/s.

5.1.5.1 Bocatoma EPA

Sobre esta fuente (Río Quindío – Vereda el Agrado – Municipio de Salento), la Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ, otorgo mediante Resolución 0713 del 30 de junio del

2004, concesión de aguas a Empresas Públicas de Armenia, por un período de 5 años y un caudal de 1.5 m³/s.

La captación actual es de tipo lateral, a través de la cual se extrae el agua mediante la formación de un embalse a lo ancho de toda la fuente y de poca profundidad, el agua ingresa a la cámara de captación a través de 2 rejillas construidas con barras de hierro de 1", esta cámara se encuentra comunicada con una cámara adyacente que posee una salida controlada mediante compuerta deslizante que permite el desvío del caudal excedente hacia un canal paralelo al río que entrega el agua a la fuente. Caudal de diseño de la estructura de la 3 m³/s.

5.1.5.2. PCH's Multipropósito de Calarcá

La primera PCH ubicada en el sentido del flujo del río es Campestre; su construcción se inició aproximadamente en 1948 y fue terminada en 1953, su bocatoma se encuentra en el sector de San Juan y de allí pasa por un túnel donde el agua es llevada hasta la planta campestre donde se aprovecha una gran caída para la generación de energía.

La potencia instalada de la planta es de 1.2 megavatios, turbina tipo Francis y generador Brown Boveri el agua ya utilizada se devuelve y en el mismo sector se toma de nuevo para ser utilizada en la segunda planta de la cadena llamada Planta Bayona, la cual está ubicada en el sector de la María, allí mismo casi al frente se retoma el agua y se lleva hasta el sector de la vereda Bohemia donde se encuentra la planta llamada La Unión.

Las tres pequeñas centrales hidroeléctricas captan igual caudal (2.7 m³/s) y poseen las mismas características de funcionamiento.

5.1.5.3 Bocatoma La Tebaida

La captación se realiza en el río Quindío a la altura del puente la María a dos 2 kilómetros de la planta de tratamiento, el agua cruda es captada por medio de una Bocatoma, pasando a un desarenador y conducida a la planta de tratamiento por una tubería de 16", dando un caudal afluente promedio de 120 litros/segundo, la planta está diseñada para una caudal máximo de 170 l/s, el agua cruda es conducida hacia la planta de tratamiento para ser sometida al proceso de potabilización. La bocatoma de La Tebaida posee caudal concesionado de 120 l/s.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE LA UMC RÍO QUINDÍO

5.2.1 MORFOMETRÍA DE LA UMC RÍO QUINDÍO

Siendo la cuenca más estudiada del departamento se realiza un resumen de la descripción de los parámetros más relevantes y medidas realizadas en estudios recientes, cabe considerar que cambios en las características morfológicas corresponden a lapsos geológicos; motivo por el que se puede considerar, con algunas reservas que dichos parámetros no tienen modificaciones apreciables en espacios temporales tan cortos.



Figura N° 3 Cuenca alta UMC Río Quindío

5.2.1.1 Parámetros fisiográficos

El escurrimiento del agua en una cuenca depende de diversos factores, siendo las características fisiográficas uno de los más importantes, características entre las que se pueden mencionar el área, tipo de suelo, uso del suelo, posición y orientación, forma, pendiente, elevación y red de drenaje.

A continuación se muestra algunos parámetros fisiográficos a tener en cuenta:

CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS		
PARAMETRO	MEDIDA	UM
Área	750	Km ²
Perímetro	168.1	Km
Ancho	14.33	Km
Longitud	59.21	Km

Tabla N° 10. Características fisiográficas.
Fuente: Tomado y modificado de Pérez, Andrés Mauricio. 2008

FORMA DE LA CUENCA		
PARAMETRO	MEDIDA	METODO
Coefficiente de forma (Kf)	0.2	Gravelius
Coefficiente de Compacidad (Kc)	1.75	Gravelius
Índice de Alargamiento (I _A)	5.18	Horton

Tabla N° 11. Forma UMC Río Quindío.
Fuente: Tomado y modificado de Pérez, Andrés Mauricio. 2008

De los valores obtenidos de los parámetros fisiográficos se puede concluir:

- El coeficiente de compacidad es mayor que 1, por lo que se considera que la UM Río Quindío tiene una forma de oval oblonga a rectangular oblonga según (Jiménez E.,H., 1992).
- El coeficiente de forma indica tiene un valor menor que 1, lo que indica una cuenca de forma rectangular, con un río principal largo y poca tendencia a concentrar el escurrimiento superficial.
- Se obtiene un índice I_A de 4.25, el cual es mayor que 1; esto indica que la cuenca es alargada, con una gran capacidad para amortiguar las crecidas.¹²

5.2.1.2 Relieve

La diferencia de alturas en la cuenca determina la variación de temperaturas, comportamiento de las lluvias, pisos térmicos y por consecuencia la existencia de hábitats con características propias, en el estudio del relieve de la cuenca se emplea el método de curvas hipsométricas.

La curva hipsométrica en el caso del río Quindío indica una cuenca en equilibrio y en fase de madurez, relacionado con una actividad media como se detalla en Figura N° 4.

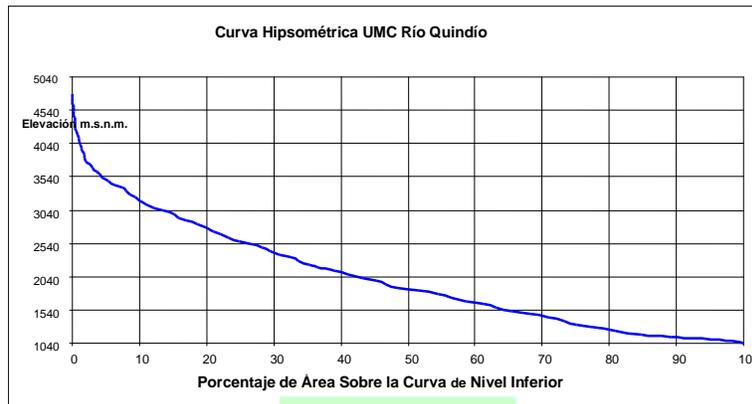


Figura N° 4 Curva hipsométrica UMC Río Quindío
Fuente: Tomado y modificado de Pérez Andrés Mauricio. 2008

5.2.1.3 Elevación de la cuenca

La elevación media medida en metros sobre el nivel del mar, se calcula por los métodos descritos en la Tabla N° 12.

Método Empleado	Altura Media	
Método de las Cuadrículas	2453.8	m.s.n.m
Método de área de elevación	2000.11	m.s.n.m

Tabla N° 12. Elevación UMC Río Quindío.
Fuente: Tomado y modificado de Pérez, Andrés Mauricio. 2008

5.2.1.4 Pendiente

La variación de la inclinación de una cuenca influye en sus fenómenos de erosión y sedimentación procesos naturales de un río, a continuación se realiza un resumen de los valores obtenidos por los diferentes métodos descritos en la literatura.

5.2.1.4.1 Pendiente media de la UMC por el método de Alvord.

Para la UMC Río Quindío la pendiente media obtenida es de 49.13 %, se determinó la pendiente de la cuenca alta de lo cual se obtuvo una pendiente media superior al 60%; En la parte baja por el contrario se pueden encontrar pendientes muy suaves, que permiten la presencia de pequeños meandros.

5.2.1.4.2 Pendiente media de la UMC por el método de Horton.

Para la UMC Río Quindío se encontró que la pendiente Media es de 34.03 %. Este valor de pendiente no es tan alto como el obtenido con el método de Alvord, se considera que el método de Alvord tiene un mayor grado de refinamiento en el cálculo de la pendiente media de la cuenca, que el método de Horton.⁴

5.2.1.5 Sistema de drenaje

El sistema de drenaje de una cuenca define la velocidad de evacuación del agua en la misma, lo componen el río principal y sus tributarios, definiendo el orden del cauce y la densidad de drenaje de la misma entre otros.

5.2.1.5.1 Orden del cauce

El cauce principal de la UMC Río Quindío es de **orden 7** según definiciones dadas en estudios anteriores por (Navarro y Madrid, 2007) y (Lozano y otros, 2002), este valor indica que la cuenca es una cuenca con variedad de afluentes para los que se define una muy buena escorrentía.

5.2.1.5.2 Densidad de drenaje

La densidad de drenaje es la relación de la longitud total de los cauces con el área de la cuenca definiendo una densidad de drenaje de 1.34 Km/Km², por lo que define una cuenca con una red de drenaje eficiente.

5.2.1.6 Cauce principal

El cauce principal de la UMC Río Quindío corresponde a la corriente de mayor longitud, en este caso el río tiene una longitud de 65.35Km.

5.2.1.7 Coeficiente de torrencialidad (Ct)

Es la relación del número de corrientes de primer orden y el área total de la cuenca, por medio de este se tiene un estimativo de la torrencialidad de la cuenca, con un valor aproximado de 0.96

⁴TESIS "INCIDENCIA DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO EN EL RÉGIMEN DE LOS CAUDALES DE LA UNIDAD DE MANEJO DE CUENCA (UMC) RÍO QUINDÍO".

Cauces/Km² indica que es una cuenca de baja torrencialidad, por lo tanto no es muy propensa a las crecidas.

5.2.1.8 Sinuosidad

El coeficiente de sinuosidad obtenida para la UMC Río Quindío es de 1.09, debido a que este valor de S es menor a 1.25, lo que indica una baja sinuosidad, por lo que se define entonces como un río con alineamiento recto (Monsalve, 1995).

5.2.1.9 Pendiente del cauce

Este valor define la velocidad con que se escurren las aguas, a continuación se relacionan en la Tabla N° 13 los valores obtenidos en estudios anteriores.

Método Empleado	Valores Obtenidos
Valores Extremos	4.07%
Compensación de Áreas	1.96%
Taylor – Schwarz	1.82%

Tabla N° 13. Elevación UMC Río Quindío.
Fuente: Tomado y modificado de Pérez, 2008

5.2.1.10 Tiempo de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que tarda una gota desde el punto más alejado de la cuenca hasta la desembocadura del cauce principal, a continuación se relacionan los valores obtenidos de varias fórmulas.

Ecuación	Tc (horas)	Vel. Promedio (m/s)
Kirpich	7.774	2.33
Guaire	5.59	3.24
Bureau of Reclamation	5.011	3.62

Tabla N° 14. Tiempo de concentración UMC Río Quindío.
Fuente: Pérez, 2008

5.2.2 SUELOS

En general, los suelos de la Cuenca (UMC Río Quindío) presentan buenas características físicas y químicas que permiten clasificar su fertilidad de moderada a alta. Los mayores limitantes de los suelos para su uso son.

- En el Paisaje de Montaña las fuertes pendientes y su ocurrencia sobre materiales fracturados, mezclados y altamente deleznable en zona de abundantes precipitaciones tornándolos inestables y muy susceptibles a procesos erosivos, principalmente a remociones masales, además en algunas áreas se presentan contactos líticos cercanos a la superficie que limitan la profundidad efectiva.



Figura N° 5 Paisaje de montaña – vereda El Agrado

- En el Piedemonte los principales limitantes están representados por la pendiente, que aunque menor que la de Montaña, representa un factor a tener en cuenta por la alta disección del terreno, la frágil estructura de los suelos y, en algunos sectores de la parte baja del abanico, capas arcillosas cercanas a la superficie que afecta la profundidad efectiva y la tasa de infiltración del agua; en consecuencia, estos suelos son susceptibles a procesos de erosión hídrica superficial. Adicionalmente, en las márgenes izquierda y derecha del río La Vieja, sobre materiales sedimentarios, se han desarrollado suelos en fuertes pendientes, con poca profundidad efectiva y una mala distribución de lluvias que afectan su uso y manejo.
- En el Paisaje de Valle el mayor limitante está representado por el mal drenaje de los suelos y el alto nivel freático predominante.

6.0 VALIDACIÓN DE INFORMACION HIDROLÓGICA Y LIMNIGRÁFICA

Para que la información resultante de un estudio de investigación tenga cierta confiabilidad es necesario validar dicha información y contrastarla con el comportamiento real del objetivo central del estudio (en este caso de la cuenca hidrográfica). Es sabido por todos que los fenómenos hidrológicos que se presentan en las cuencas hidrográficas debido a su variabilidad y comportamiento son muy difíciles de cuantificar, generando así una especie de inseguridad e incertidumbre a la hora de desarrollar modelos que representen dichas cuencas, arrojando estos valores que no simulan exactamente el comportamiento normal de una cuenca comparándolo con la información obtenida de las diferentes estaciones hidrometeorológicas, limnimétricas y limnigráficas ubicadas a lo largo y ancho de esta.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda trabajar con serie de datos de al menos 30 años consecutivos. En nuestro medio resulta difícil de acceder a estaciones que posean datos con este número de años y se realizan análisis con series más cortas, siempre y cuando estas sean representativas en la zona (Almeida, 2010).

Para este estudio en especial es imperiosa la necesidad de validar la información hidrológica necesaria para alimentar el modelo de restitución de régimen natural (SSD WEAP) para luego procesar dicha información utilizando las metodologías de caudales ecológicos mencionadas posteriormente consecuentes con el comportamiento de la UMC Río Quindío.

6.1 METODOLOGÍA

Para la validación inicial de la información tanto hidrológica como limnigráfica primero se debe estimar si dicha información es homogénea o heterogénea. La homogenización de la información depende de los instrumentos y los lugares en los cuales están instalados los equipos, la forma en cómo se están tomando los datos y hasta en la escritura de dicha información en documentos oficiales. Factores importantes que hacen que la información sea heterogénea radican en la variabilidad del clima en la región, deforestación, cultivos y pastizales, y hasta el cambio climático global que origina picos drásticos tanto de lluvias como de sequías.

Los procedimientos más utilizados en ingeniería para evaluar la homogeneidad de la información son: La prueba de rachas y la curva de doble masa. Para este estudio se realiza la prueba de rachas y curva de doble masa a las nueve (9) estaciones hidrológicas con las cuales se está trabajando, sabiendo de ante mano que dichos datos están a escala mensual, facilitando el análisis de la prueba de rachas; también se realiza los dos (2) análisis de homogeneidad a las 4 estaciones limnigráficas estudiadas (Bocatoma EPA, Palestina Baja, Calle larga y Centro de la Guadua) teniendo en cuenta que para desarrollar la prueba de rachas en estas cuatro (4) estaciones se deben trabajar los datos como promedios mensuales ya que si se hace dicha

prueba con valores diarios no existe un rango de probabilidad de excedencias que cubra dicha cantidad de datos.

6.2 PROCEDIMIENTO

6.2.1 Prueba de rachas

Este método consiste en establecer la distribución de los elementos en relación con el valor de la mediana por sobre o por debajo de esta (Almeida, 2010). El procedimiento para hacer la prueba de rachas es la siguiente (Ríos, L. E. 2010):

- Calcular la mediana de la serie de datos
- Conteo del número de datos hacia arriba (+) o hacia abajo (-) de la mediana
- Conteo de número de rachas, siendo una racha el cambio de signo que se produzca en el conteo referido en el literal anterior.

A partir del conteo de rachas y teniendo la cantidad de datos a los cuales se les va a hacer el análisis, se determina si los datos son homogéneos o no mediante dos (2) tablas que determinan un rango de probabilidad de excedencias.

Cuando el número de rachas está por debajo del intervalo definido, significa que los términos de la serie tienen una alta dependencia positiva y por ende la media de la serie tiene una tendencia a aumentar o disminuir en el tiempo. En el caso contrario, cuando el número de rachas es mayor al correspondiente a la probabilidad mayor, denota una alta dependencia negativa y por lo tanto la serie tiende a variar de manera aleatoria (Almeida, 2010).

Las tablas de rangos de probabilidad de excedencias son las siguientes:

N	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100	120	140
F(u) =2.5%	2	4	6	8	10	12	14	18	22	31	40	49	58
F(u) =97.5%	6	10	15	18	21	24	27	33	39	50	61	72	83

(Sixto Ríos, Métodos estadísticos)

N	20	24	28	30	34	36	40	50	60	70	80	90	100
F(u) =10%	8	9	10	12	14	15	16	22	26	31	35	40	45
F(u) =90%	13	16	18	19	21	22	25	30	36	41	47	52	57

(H.C.S Thom, OMM. Nota técnica, núm. 81)

Como se puede observar, existen dos (2) tablas con diferentes rangos de probabilidad de excedencias según el autor. Para este estudio se trabaja con la tabla dada por Sixto Ríos debido a que se tienen 120 datos en total, valor que no tiene la tabla de la OMM.

6.2.1.1 Prueba de rachas a estaciones limnigráficas

Esta prueba de rachas es un estimativo de cómo se encuentran los datos y de cuáles son las repercusiones que estos generan en el desarrollo del modelo. Como se dijo anteriormente, los datos de estas estaciones se llevaron a medias mensuales debido a que el rango máximo dado por las probabilidades de excedencias es de 140 datos en total, dato que supera claramente los datos diarios de diez (10) años consecutivos.

La información se ubica en una tabla y se determina el número de rachas según el comportamiento de los datos como se muestra en la Tabla N° 15.

AÑO	MES	PROMEDIOS MENSUALES (m ³ /s)	N	NS
2004	Enero	3.1	+	1
	Febrero	1.9	-	1
	Marzo	2.0	-	0
	Abril	2.0	-	0
	Mayo	2.0	-	0
	Junio	1.7	-	0
	Julio	1.7	-	0
	Agosto	2.2	-	0
	Septiembre	2.3	-	0
	Octubre	1.9	-	0
	Noviembre	5.2	+	1
	Diciembre	5.4	+	0
MEDIANA		2.5	60	38.0

Tabla N° 15. Prueba de rachas estación bocatoma EPA

En la Tabla N° 15 se puede observar que el número de rachas es de 38, lo cual si se observa el rango de probabilidad de excedencias dado por Sixto Ríos para 120 de datos (49-72) se puede concluir que los datos de dicha estación son heterogéneos.

De igual manera se hizo el Test de Rachas para las otras tres (3) estaciones limnigráficas arrojando los siguientes resultados.

ESTACIÓN	N° DE DATOS	RANGO INF.	RANGO SUP.	N° RACHAS	RESULTADO
Bocatoma EPA	120	49	72	38	NO HOMOGENEO
Palestina Baja	120	49	72	27	NO HOMOGENEO
Calle Larga	120	49	72	35	NO HOMOGENEO
C. Guadua	120	49	72	27	NO HOMOGENEO

Tabla N° 16. Test de Rachas Estaciones limnigráficas

Claramente se puede observar en la Tabla N° 16 como los datos de dichas estaciones no obedecen a un comportamiento homogéneo, esto demuestra el hecho de que esos datos con los que se está trabajando en este estudio han tenido problemas de vacíos de información en periodos largos de tiempo, problemas en las lecturas y demás problemas mencionados anteriormente confirmando la heterogeneidad de estas, esto hace necesario corregir dicha información.

6.2.1.2 Prueba de rachas a estaciones hidrológicas

A las estaciones hidrológicas se les realizó la prueba de rachas tanto para datos de precipitación como de evapotranspiración, es importante resaltar que la mayoría de estos últimos fueron obtenidos de un proceso de análisis de información con la teoría de Budyko (Arias & Poveda, 2007), la cual permite obtener datos de evapotranspiración real a partir de datos de temperatura, esto hace que dichos datos tengan una incertidumbre aún mayor. La prueba de rachas se realizó de la misma forma que con las estaciones limnigráficas. En la Tabla N° 17 y Tabla N° 18 se aprecian a la izquierda el análisis de precipitación y a la derecha el de evapotranspiración real.

En este caso se puede apreciar que los datos obtenidos de la estación hidrológica El Bosque no son homogéneos, esto indica que es necesario hacer la curva de doble masa para determinar qué tan variables están los datos y corregirlos

Este proceso se hizo exactamente igual para las nueve (9) estaciones hidrológicas para precipitación y evapotranspiración real dando como resultado lo mostrado en la Tabla N° 19 y Tabla N° 20.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

PRECIPITACIÓN EL BOSQUE					EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EL BOSQUE				
AÑO	MES	P(mm)	NA	NS	AÑO	MES	EPT(mm)	NA	NS
1995	Enero	59.5	+	1	1995	Enero	2.8	-	1
	Febrero	55.9	-	1		Febrero	37.5	-	0
	Marzo	60.7	+	1		Marzo	42.1	+	1
	Abril	60.5	+	0		Abril	42.0	+	0
	Mayo	63.1	+	0		Mayo	43.8	+	0
	Junio	61.6	+	0		Junio	41.6	+	0
	Julio	60.0	+	0		Julio	41.6	+	0
	Agosto	60.7	+	0		Agosto	42.1	+	0
	Septiembre	59.6	+	0		Septiembre	41.4	+	0
	Octubre	55.0	-	1		Octubre	38.1	-	1
	Noviembre	53.7	-	0		Noviembre	37.2	-	0
	Diciembre	55.5	-	0		Diciembre	38.5	-	0

Tabla N° 17. Prueba de rachas estación El Bosque

2004	Enero	58.1	-	0	2004	Enero	40.3	-	0
	Febrero	52.4	-	0		Febrero	36.3	-	0
	Marzo	65.7	+	1		Marzo	45.6	+	1
	Abril	60.4	+	0		Abril	41.9	+	0
	Mayo	64.8	+	0		Mayo	44.9	+	0
	Junio	63.8	+	0		Junio	44.2	+	0
	Julio	59.0	-	1		Julio	41.0	+	0
	Agosto	67.3	+	1		Agosto	46.7	+	0
	Septiembre	57.6	-	1		Septiembre	40.0	-	1
	Octubre	56.1	-	0		Octubre	38.9	-	0
	Noviembre	56.7	-	0		Noviembre	39.3	-	0
	Diciembre	58.1	-	0		Diciembre	40.3	-	0
MEDIANA		59.3	60	40	MEDIANA		40.6	60	41

Tabla N° 18. Prueba de rachas estación El Bosque – Resultados obtenidos

ESTACIÓN	N° DE DATOS	RANGO INF.	RANGO SUP.	N° RACHAS	RESULTADO
El Bosque	120	49	72	40	NO HOMOGNEO
La Picota	120	49	72	53	HOMOGENEO
Bremen	120	49	72	40	NO HOMOGNEO
La Playa	120	49	72	50	HOMOGENEO
CRQ	120	49	72	48	NO HOMOGNEO
Navarco	120	49	72	54	HOMOGENEO
C. Guadua	120	49	72	46	NO HOMOGNEO
Edén	120	49	72	49	HOMOGENEO
La Sierra	120	49	72	39	NO HOMOGNEO

Tabla N° 19. Test de Rachas Estaciones Hidrológicas – Precipitación

ESTACIÓN	N° DE DATOS	RANGO INF.	RANGO SUP.	N° RACHAS	RESULTADO
El Bosque	120	49	72	41	NO HOMOGNEO
La Picota	120	49	72	53	HOMOGENEO
Bremen	120	49	72	57	HOMOGENEO
La Playa	120	49	72	36	NO HOMOGNEO
CRQ	120	49	72	48	NO HOMOGNEO
Navarco	120	49	72	49	NO HOMOGNEO
C. Guadua	120	49	72	50	HOMOGENEO
Edén	120	49	72	49	HOMOGENEO
La Sierra	120	49	72	42	NO HOMOGNEO

Tabla N° 20. Test de Rachas Estaciones Hidrológicas – Evapotranspiración

De la Tabla N° 19 y Tabla N° 20 se puede concluir que la información procedente de dichas estaciones es heterogénea presentando una variabilidad anormal en el comportamiento de estos a lo largo de la serie histórica mensual. Las estaciones de Edén y La Picota poseen datos homogéneos, por lo que hace pensar que no hay problema a la hora de simular el modelo con estos.

Estos resultados aunque muestran datos heterogéneos no representan una condición errónea de la información de manera absoluta ya que si se observa con más detenimiento, los valores de las rachas están en algunas estaciones escasamente por debajo del rango de probabilidad de excedencia, siendo poco concluyente ese resultado.

Como se dijo anteriormente, la prueba de rachas es un estimativo de cómo se están comportando los datos obtenidos de las diferentes estaciones. Es importante resaltar que para este punto de la validación no se tienen resultados definitivos, el comportamiento real de dicha información se da al realizar la curva de doble masa para estas estaciones.

6.2.2 Curva de Doble masa

Para corroborar los resultados obtenidos en la prueba de rachas y establecer de manera más precisa la homogeneidad de la información se procede a realizar la curva de doble masa tanto para datos de estaciones limnigráficas como hidrológicas.

El método de doble masa considera que en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales o estacionales, guardan una relación de proporcionalidad que puede representarse gráficamente. Esa representación consiste en identificar la estación que se quiere controlar, tomando los valores anuales de precipitación. Luego debe contarse con por lo menos tres (3) estaciones vecinas cuyos registros anuales sean confiables y que en este apartado se llamarán estaciones base, cuya serie de datos anuales debe coincidir con el de la estación a controlar. En cada año, a partir del primero con registro, se promedian los valores de las estaciones base y se acumulan por años sucesivos, obteniéndose una precipitación media anual acumulada. Luego, en un sistema de ejes ortogonales, se grafica en ordenadas los valores de precipitación anual acumulada de la estación a controlar y en abscisas los de precipitación media anual acumulada de las estaciones base. Si los registros no han sufrido variaciones, los puntos se alinean en una recta de pendiente única, por lo tanto no será necesario efectuar correcciones. Si por el contrario hay variaciones en la pendiente de la recta, significa que parte de la serie contiene valores erróneos por lo cual el registro de datos debe ser corregido a partir del año en el que cambia la pendiente de la recta. Se obtiene en ese caso un Factor de Corrección que es proporcional a la variación de la pendiente de la recta. El factor de corrección se obtiene haciendo P_c/P_e que en el ejemplo del gráfico será K 1, debido a que los registros anuales medidos han sido menores a los reales y deben corregirse a partir del año del error, tomando los valores anuales sin acumular y afectándolos a cada uno por el factor de corrección.⁵

6.2.2.1 Curva de doble masa para estaciones limnigráficas:

La curva de doble masa que se realizó con las estaciones limnigráficas se limita a las dos (2) estaciones ubicadas en la cuenca alta debido a que estas presentan un comportamiento hidrológico similar, caudal similar y características propias de la cuenca. Para las dos (2) estaciones de la cuenca baja de la UMC Río Quindío no se puede realizar la curva de doble masa debido a los siguientes percances:

- Las estaciones de Calle Larga y Centro de la Guadua están ubicadas en masas de agua diferentes con un comportamiento hidrológico diferente.
- El caudal que se maneja en el sitio de la estación Calle Larga es exageradamente grande a comparación del caudal que se tiene en la estación del Centro de la Guadua.

⁵ Procesamiento de los datos de precipitación, Universidad Nacional del Nordeste

- En el caso de la estación Calle Larga que pertenece a la corriente del río Quindío tampoco se puede comparar con la estación Bocatoma EPA debido a la diferencia tanto estacional como de caudal que se presenta en estas dos (2).

Debido a esto la curva de doble masa solo se realizó con las estaciones de Bocatoma EPA y Palestina Baja.

Para la elaboración de la curva de doble masa primero se debe procesar la información según los parámetros mínimos para la elaboración de la curva (Estación Base) como se muestra en la Tabla N° 21.

FECHA	ESTACIONES BASE				ESTACIÓN A CONTROLAR (BOCATOMA EPA)				
	BOCATOMA EPA	NAVARCO	PROMEDIO	ACUMULADO	CAUDAL (m3/s)	ACUMULADO	CORREGIDOS	ACUM CORREGIDOS	DEFINITIVO
	CAUDAL (m3/s)	CAUDAL (m3/s)							
01/01/1995	1.70	1.12	1.41	1.41	1.70	1.70	1.95	1.95	1.95
02/01/1995	1.50	1.12	1.31	2.72	1.50	3.20	1.72	3.67	3.67
03/01/1995	1.30	1.12	1.21	3.93	1.30	4.50	1.49	5.17	5.17
04/01/1995	1.40	1.12	1.26	5.19	1.40	5.90	1.61	6.77	6.77
05/01/1995	1.30	1.12	1.21	6.40	1.30	7.20	1.49	8.27	8.27
06/01/1995	1.20	1.12	1.16	7.56	1.20	8.40	1.38	9.64	9.64
07/01/1995	1.10	1.12	1.11	8.67	1.10	9.50	1.26	10.91	10.91
08/01/1995	1.20	1.12	1.16	9.83	1.20	10.70	1.38	12.28	12.28
09/01/1995	1.30	1.12	1.21	11.04	1.30	12.00	1.49	13.78	13.78

Tabla N° 21. Procesamiento de información – Estación Base

Luego de esto se grafica el acumulado de la estación base en las abscisas y el acumulado de la estación a controlar en la ordenada, a continuación se muestra la corrección de las estaciones bocatoma EPA y Palestina Baja.

6.2.2.1 Corrección Estación Bocatoma EPA:

Después de tener la estación base se procede a corregir la estación en mención. Primero que todo se debe hacer la gráfica para establecer el grado de error que tienen los datos de esta estación. A partir de allí se procede a corregir la gráfica mediante un factor de corrección según el comportamiento del tramo a corregir.

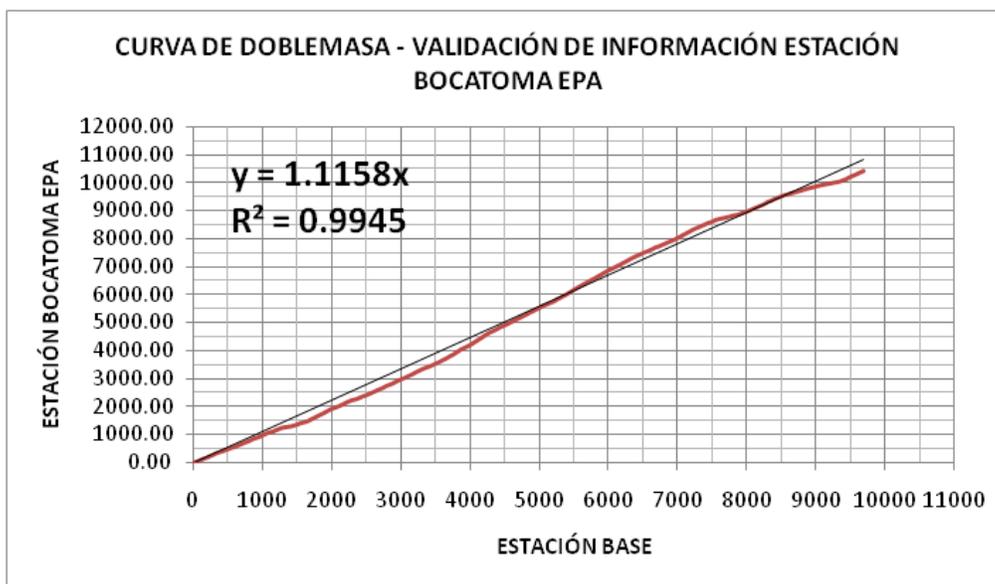


Figura N° 6 Curva de doble masa Estación Bocatoma EPA

Como se puede observar en la Figura N° 6 se tienen dos (2) grandes tramos que se deben corregir, a pesar de que el $R=0.9945$ no es un indicador de algún problema serio en la información tomada de dicha estación. De todas formas es preciso corregir la información hasta obtener un R mucho más exacto y parecido a la línea de tendencia mostrada en la Figura N° 11.

Primero se determina el tramo de datos que corresponde a la sección a corregir como lo muestra la Tabla N° 22.

26/03/1996	4.4	5.7	5.1	1287.9	4.4	1256.2	5.1	1442.1	1442.1
27/03/1996	3.0	5.6	4.3	1292.2	3.0	1259.2	3.5	1445.6	1445.6
28/03/1996	1.7	5.5	3.6	1295.8	1.7	1260.9	2.0	1447.5	1447.5
29/03/1996	1.5	5.5	3.5	1299.3	1.5	1262.4	1.8	1449.3	1449.3
30/03/1996	0.9	5.5	3.2	1302.5	0.9	1263.4	1.1	1450.3	1450.3
31/03/1996	1.1	5.4	3.3	1305.8	1.1	1264.5	1.9	1452.3	1452.3
01/04/1996	1.0	5.5	3.3	1309.1	1.0	1265.5	1.8	1454.1	1454.1
02/04/1996	1.2	5.4	3.3	1312.3	1.2	1266.7	2.0	1456.1	1456.1

Tabla N° 22. Procesamiento de información – Tramo a corregir

Al tener el tramo a corregir se procede a establecer el Factor de Corrección a partir de la gráfica, obteniendo los valores en la ordenada correspondientes a dicho factor ($FC=Pc/Pe$).



Figura N° 7 Obtención de Factor de corrección en el tramo a corregir

En la Figura N° 7 se puede observar la forma en la que se obtienen los coeficientes P_c y P_e para las variaciones de la gráfica. Las líneas verdes indican los límites del tramo a corregir, teniendo en cuenta que al corregir la pendiente que genera la variación se corrige por consiguiente los datos siguientes ajustándose a la línea de tendencia.

Al obtener el FC se procede a corregir los datos involucrados del tramo en mención, la gráfica corregida para este mismo tramo queda de la siguiente manera:



Figura N° 8 Procesamiento de información – Tramo corregido

Se puede observar en la Figura N° 8 como los datos del tramo corregido tiende a la línea de tendencia mejorando inmediatamente el R de la gráfica.

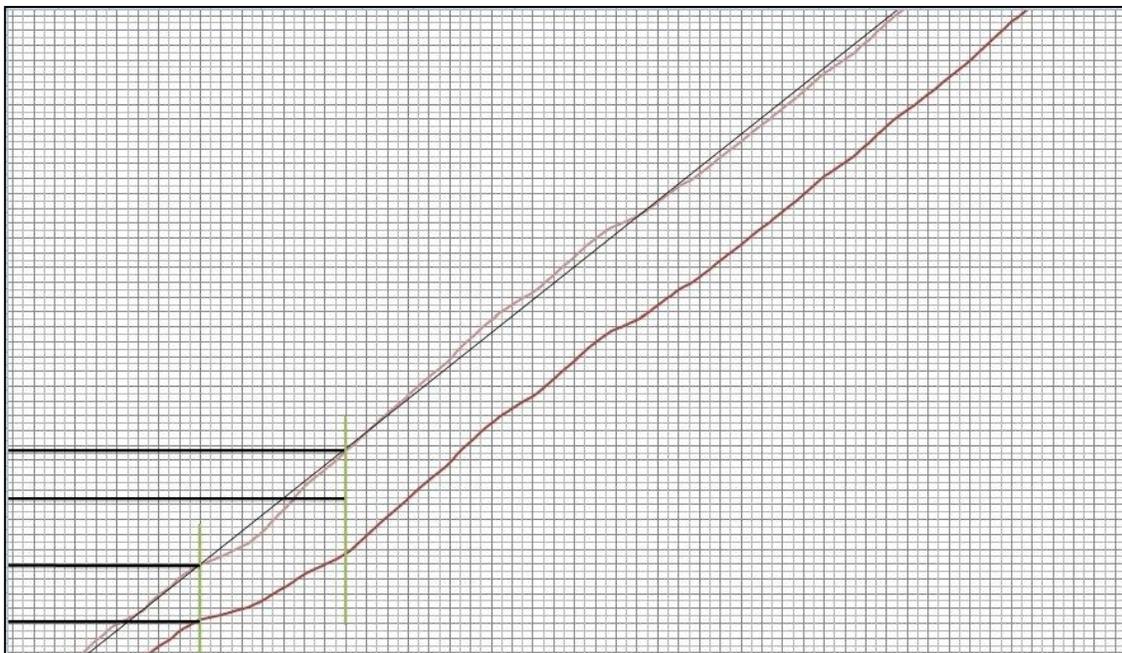


Figura N° 9 Procesamiento de información – Tramo corregido de forma automática

En la Figura N° 9 se puede ver como los datos posteriores al tramo corregido inmediatamente se corrigen acercándose a la línea de tendencia. Las siguientes correcciones se hacen de la misma manera hasta que la línea sea casi idéntica a la línea de tendencia.

Los factores de corrección se mencionan en la Tabla N° 23.

VALIDACIÓN BOCATOMA EPA			
ZONAS CORREGIDAS	Pe	Pc	Fc
1	1263.37	1450	1.148
2	222.96	385	1.727
3	1124.87	885	0.787
4	1028.06	938.06	0.912
5	1430	1170	0.818
6	315	500	1.587
7	575	1000	1.739

Tabla N° 23. Factores de Corrección para los tramos a corregidos – Bocatoma EPA

Existen factores de corrección que están por encima de uno (1), esto indica que los datos están por debajo de la línea de tendencia y requieren de un factor que los aumente para poder alcanzar dicha línea, de la misma manera sucede con los factores que son menores que uno (1) los cuales aplican a los datos que se encuentren por encima de la línea de tendencia y tienen que ser reducidos para llegar a esta.

A continuación se muestran en la Figura N° 10 y Figura N° 11 el antes y el después de la corrección de los datos a partir de la curva de doble masa.

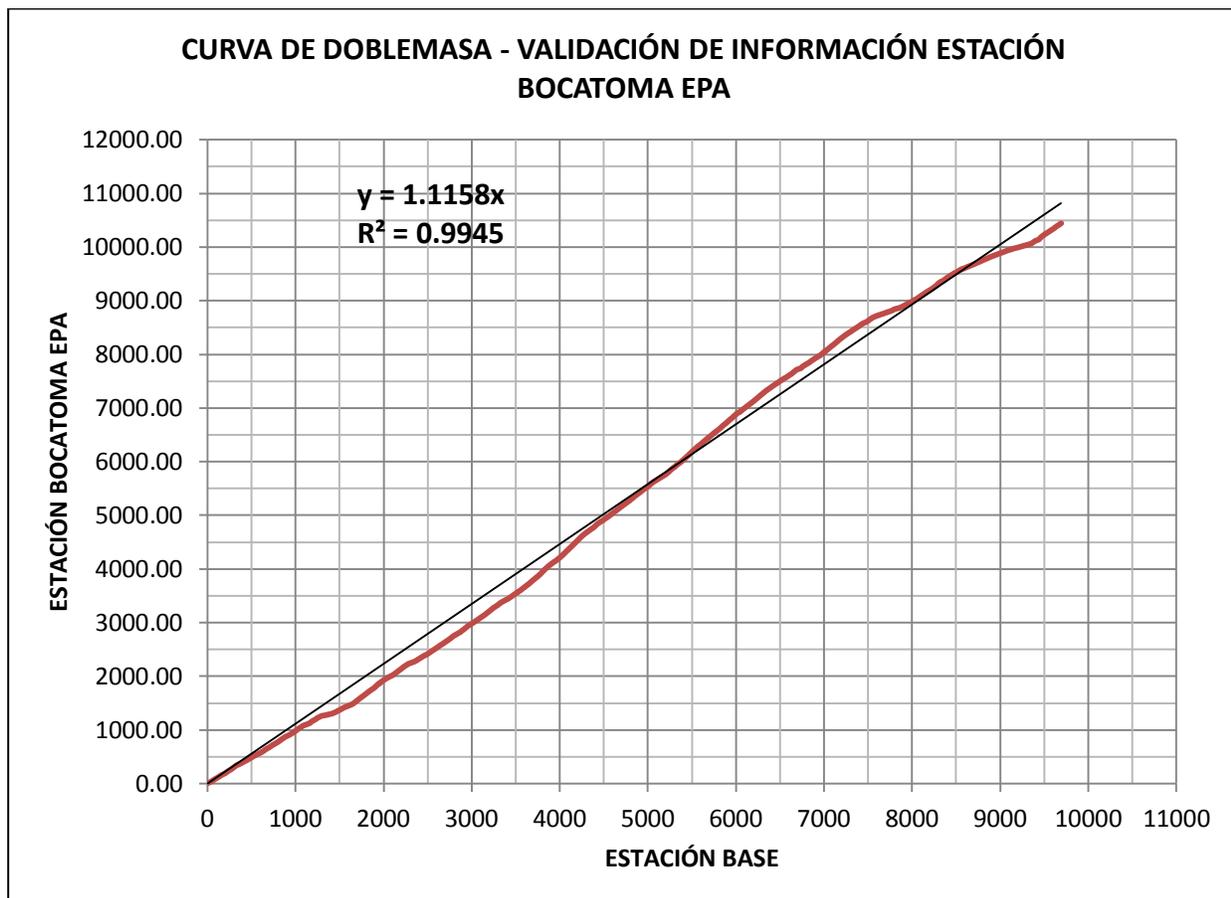


Figura N° 10 Curva de Doble masa sin corregir– Bocatoma EPA

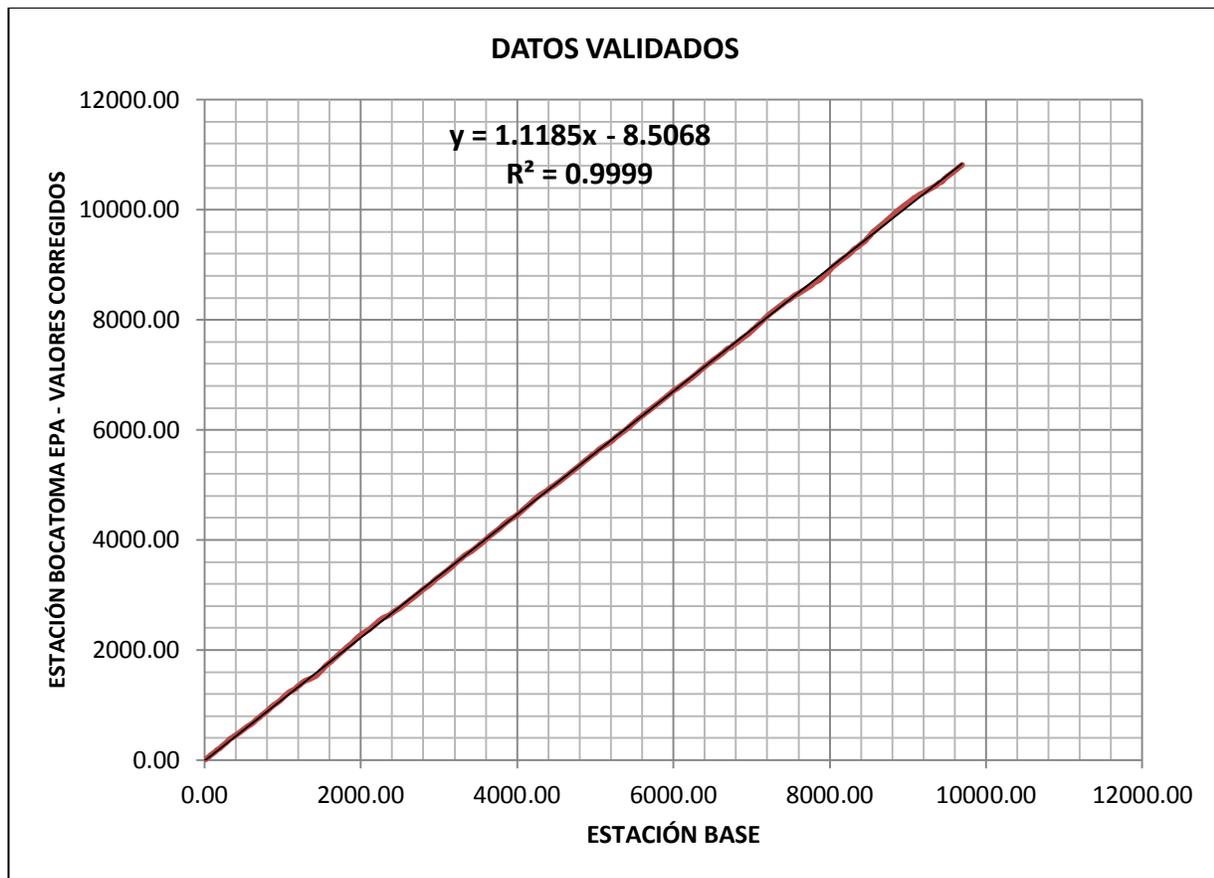


Figura N° 11 Curva de Doble masa datos corregidos– Bocatoma EPA

Claramente se evidencia la mejoría en la gráfica después de la corrección de los datos. Estos datos corregidos se llevarán al análisis del caudal a régimen natural hecho mediante la herramienta SSD WEAP al igual que las demás estaciones corregidas y las estaciones hidrológicas.



6.2.2.1.2 Corrección Estación Palestina Baja – Navarco:

Al igual que con la estación Bocatoma EPA, para esta estación se debe graficar el acumulado de sus caudales a escala diaria contra el acumulado de la estación base, dando como resultado lo mostrado en la Figura N° 12.

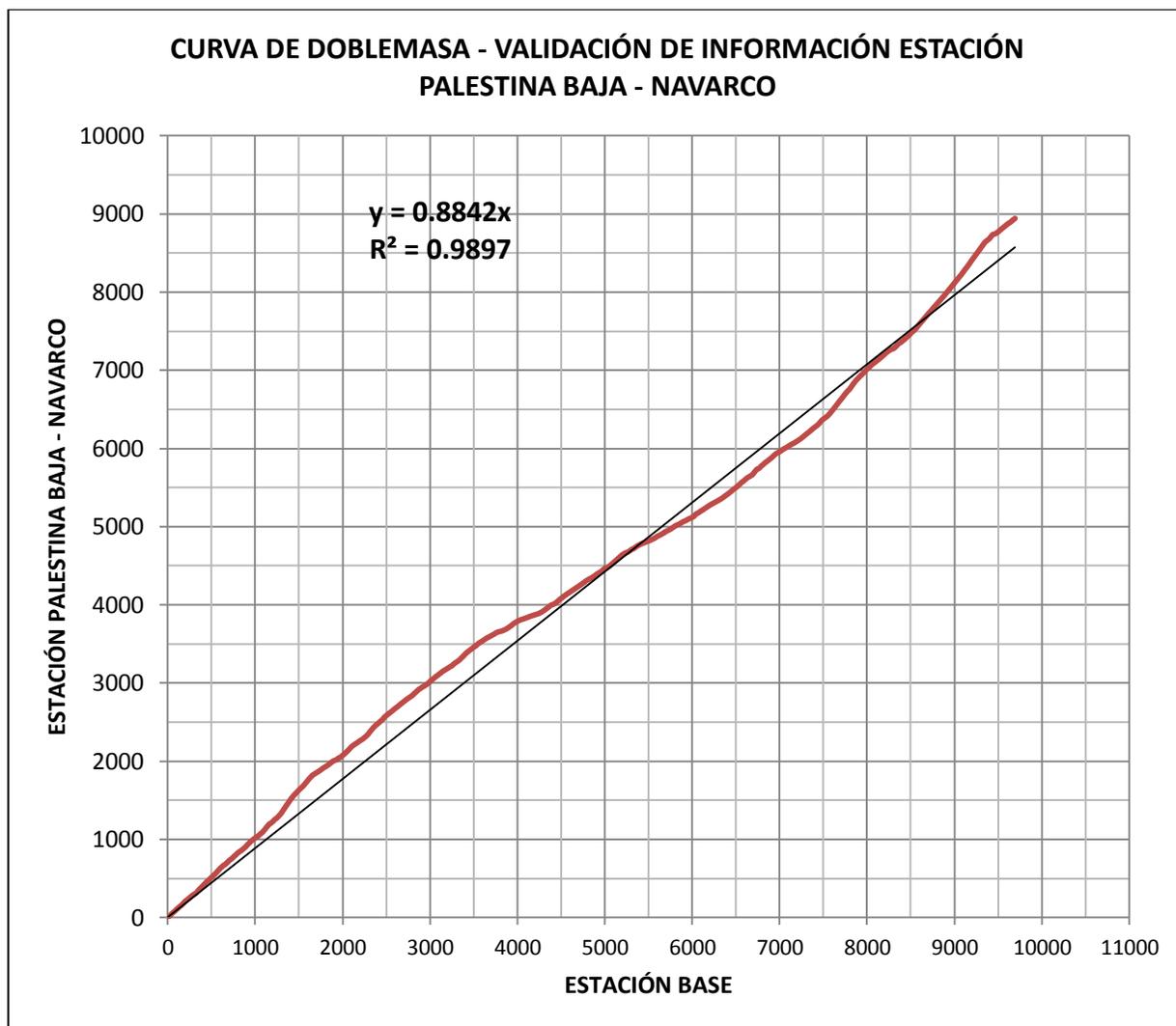


Figura N° 12 Curva de Doble masa sin corregir– Palestina Baja



Los datos en la estación Palestina Baja son ligeramente más erróneos que los datos de la estación Bocatoma EPA. El procedimiento para corregir los datos fue exactamente el mismo que con la estación anterior, con la diferencia que en esta estación se presentaron más tramos para corregir, a continuación se muestra en la Tabla N° 24 el resumen con los tramos corregidos y sus respectivos factores de corrección:

VALIDACIÓN PALESTINA BAJA - NAVARCO			
ZONAS CORREGIDAS	Pe	Pc	Fc
1	1335	1145	0.858
2	480	310	0.646
3	240	300	1.250
4	232	172	0.741
5	400	625	1.563
6	770	885	1.149
7	495	710	1.434
8	200	260	1.300
9	560	375	0.670
10	1250	830	0.664

Tabla N° 24. Factores de Corrección para los tramos a corregidos – Palestina Baja

A continuación se muestra en la Figura N° 13 los datos corregidos para la estación de Palestina Baja:

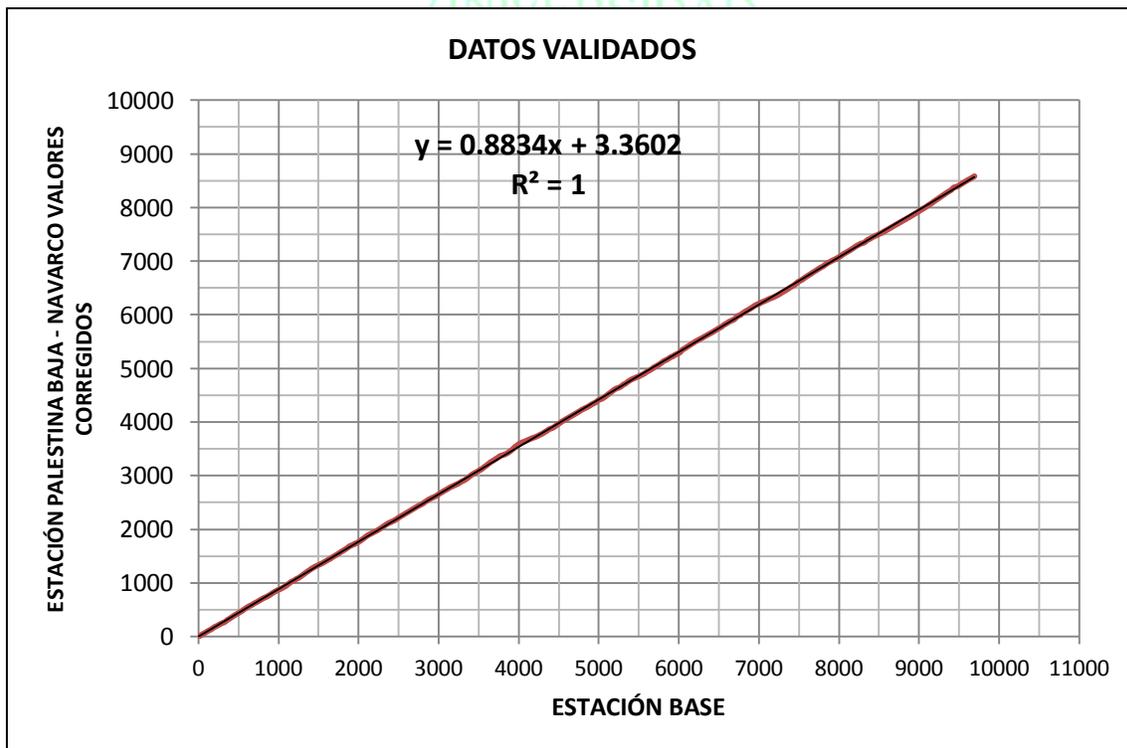


Figura N° 13 Curva de Doble masa datos corregidos– Palestina Baja

Para esta estación se logró una corrección que llevará a los datos nuevos a dar un $R=1$, lo que hace que dichos datos sean casi perfectos para desarrollar a cabalidad el resto del estudio para dicha estación.

6.2.2.2 Curva de doble masa para estaciones hidrológicas

Para realizar las curvas de doble masa con las estaciones hidrológicas se optó por dividir las nueve (9) estaciones en tres (3) grupos según su similitud en cuanto a comportamiento hidrológico y lámina de agua registrada tal como se muestra en la Tabla N° 25:

GRUPO	PERTENECIENTES
Estación Base N° 1	El Bosque
	La Picota
	Navarco
Estación Base N° 2	Bremen
	La Playa
	CRQ
Estación Base N° 3	Edén
	C. Guadua
	La Sierra

Tabla N° 25. Distribución de las estaciones hidrológicas para construir la curva de doble masa

A partir de esta distribución se realizan las estaciones base con las cuales se pasa a corregir la información. Es importante resaltar que para estas estaciones se hace el análisis de curva de doble masa para datos de precipitación y evapotranspiración.

6.2.2.2.1 Corrección de datos de precipitación:

Los datos de precipitación se corrigieron según las estaciones base anteriormente mencionadas y aplicando el mismo procedimiento hecho en las estaciones limnigráficas. La única estación que tuvo la necesidad de ser corregida fue la estación de El Bosque la cual posee un $R=0.9973$, que aunque no es malo, si se compara con los R 's de las demás estaciones, el de la estación El Bosque es menor y se debe considerar para corregir dichos datos.

El procedimiento realizado con dicha corrección se muestra a continuación al igual que los resultados de las demás curvas de doble masa para cada estación.

• **Estación Base N° 1:**

Como se mencionó anteriormente la estación base N° 1 comprende las estaciones de El Bosque, La Picota y Navarco, en el cual se procesa la información para realizar la corrección de los tramos que sean necesarios (Tabla N° 26).

ESTACIONES BASE N° 1				
EL BOSQUE	LA PICOTA	NAVARCO	PROMEDIO	ACUMULADO
m.c.a	m.c.a	m.c.a		
59.5	78.7	51.4	63.2	63.2
55.9	44.5	124.4	74.9	138.1
60.7	94.8	168.6	108.0	246.2
60.5	200.4	265.0	175.3	421.5
63.1	166.9	167.0	132.3	553.8
61.6	32.8	96.0	63.5	617.3
60.0	41.6	225.3	109.0	726.2
60.7	72.1	72.9	68.6	794.8
59.6	77.1	81.9	72.9	867.7
55.0	237.6	270.6	187.7	1055.4
53.7	125.2	129.3	102.7	1158.1
55.5	197.8	201.6	151.6	1309.7

Tabla N° 26. Procesamiento de información para el año 1995 de las estaciones pertenecientes a la Estación Base N° 1

- **Corrección de estación El Bosque**

La estación El Bosque posee una serie de datos demasiado irregulares que ameritan una corrección, a continuación se muestra el comportamiento de dicha estación.



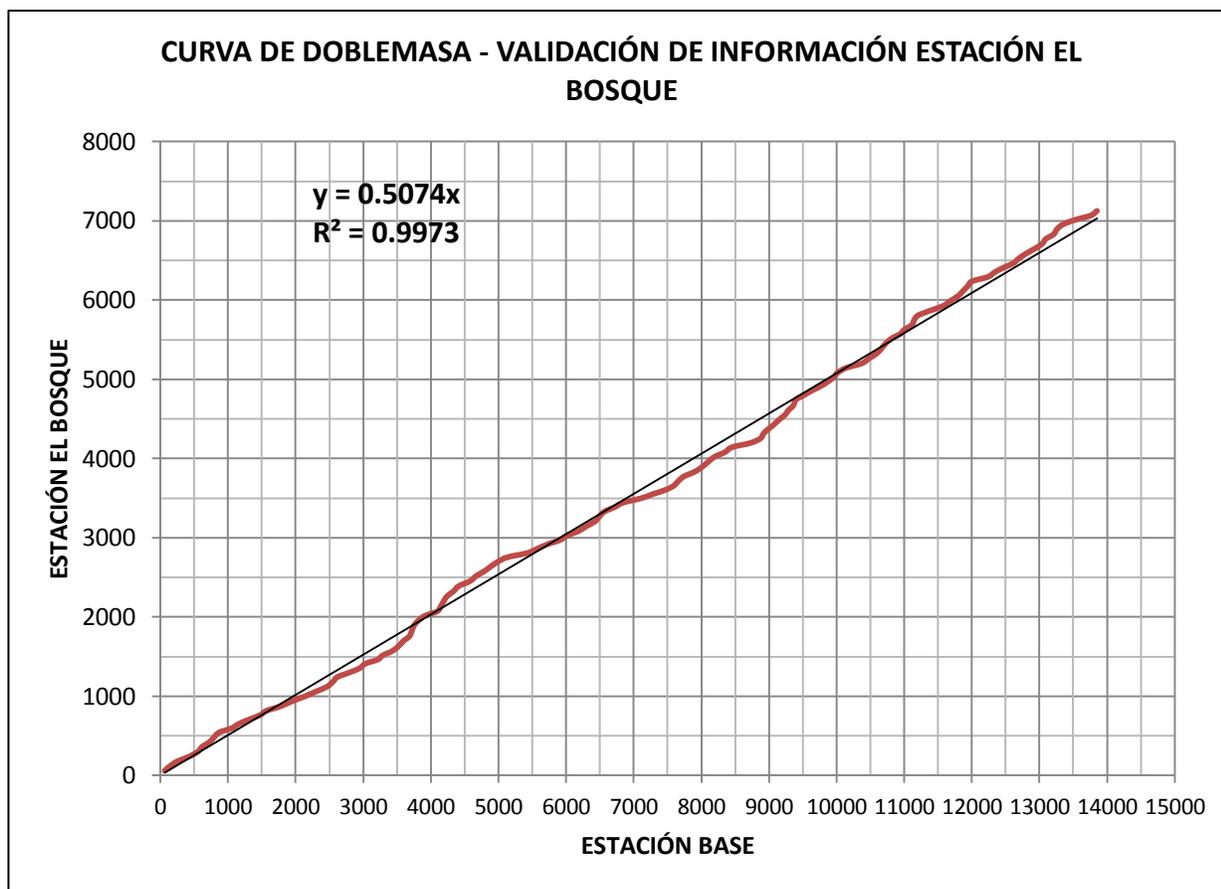


Figura N° 14 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– El Bosque

Se puede observar en la Figura N° 14 la variabilidad en el comportamiento de los datos de esta estación, haciendo necesario corregir esta información. Para la corrección de estos datos se tiene la dificultad de que estos son a escala mensual, por lo que no tienen un valor más preciso con el cual se logre corregir correctamente los valores de precipitación. En la mayoría de los casos la corrección se hizo de manera manual tratando de acomodar la gráfica a la línea de tendencia según su comportamiento. También es importante resaltar que en algunos casos fue necesario modificar datos que anteriormente ya se habían corregido a causa de los datos demasiado generalizados; al cambiar un tramo de la gráfica se modificaba toda la configuración corregida anteriormente, es por esto que se optó al final por hacer las correcciones de manera manual en las secciones que presentaban dicho problema.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

FECHA		ESTACIONES BASE					ESTACIÓN A CONTROLAR (EL BOSQUE)
		EL BOSQUE	LA PICOTA	NAVARCO	PROM	ACUM	DEFINITIVO
AÑO	MES	m.c.a	m.c.a	m.c.a			
1995	Enero	59.5	78.7	51.4	63.2	63.2	63.2
	Febrero	55.9	44.5	124.4	74.9	138.1	138.1
	Marzo	60.7	94.8	168.6	108.0	246.2	246.2
	Abril	60.5	200.4	265.0	175.3	421.5	421.5
	Mayo	63.1	166.9	167.0	132.3	553.8	553.8
	Junio	61.6	32.8	96.0	63.5	617.3	617.3
	Julio	60.0	41.6	225.3	109.0	726.2	726.2
	Agosto	60.7	72.1	72.9	68.6	794.8	794.8
	Septiembre	59.6	77.1	81.9	72.9	867.7	867.7
	Octubre	55.0	237.6	270.6	187.7	1055.4	1055.4
	Noviembre	53.7	125.2	129.3	102.7	1158.1	1158.1
	Diciembre	55.5	197.8	201.6	151.6	1309.7	1309.7

Tabla N° 27. Curva de Doble masa sin corregir– El Bosque

Como se puede observar en la

Figura N° 15, las franjas azules corresponden a los tramos que se iban corrigiendo, nótese que los tramos son mucho más cortos que los tramos obtenidos en las estaciones limnigráficas, esto se debe a que los datos de precipitación por ser a escala mensual son muy generalizados y no abarcan el total de datos que realmente hacen que la gráfica fluctúe. Las franjas rojas corresponden a los tramos que después de ser corregidos se tuvo la necesidad de corregirlos de nuevo debido a lo anteriormente mencionado.

En la Figura N° 15 se muestra la curva de doble masa con los datos corregidos y listos para continuar con el modelo.

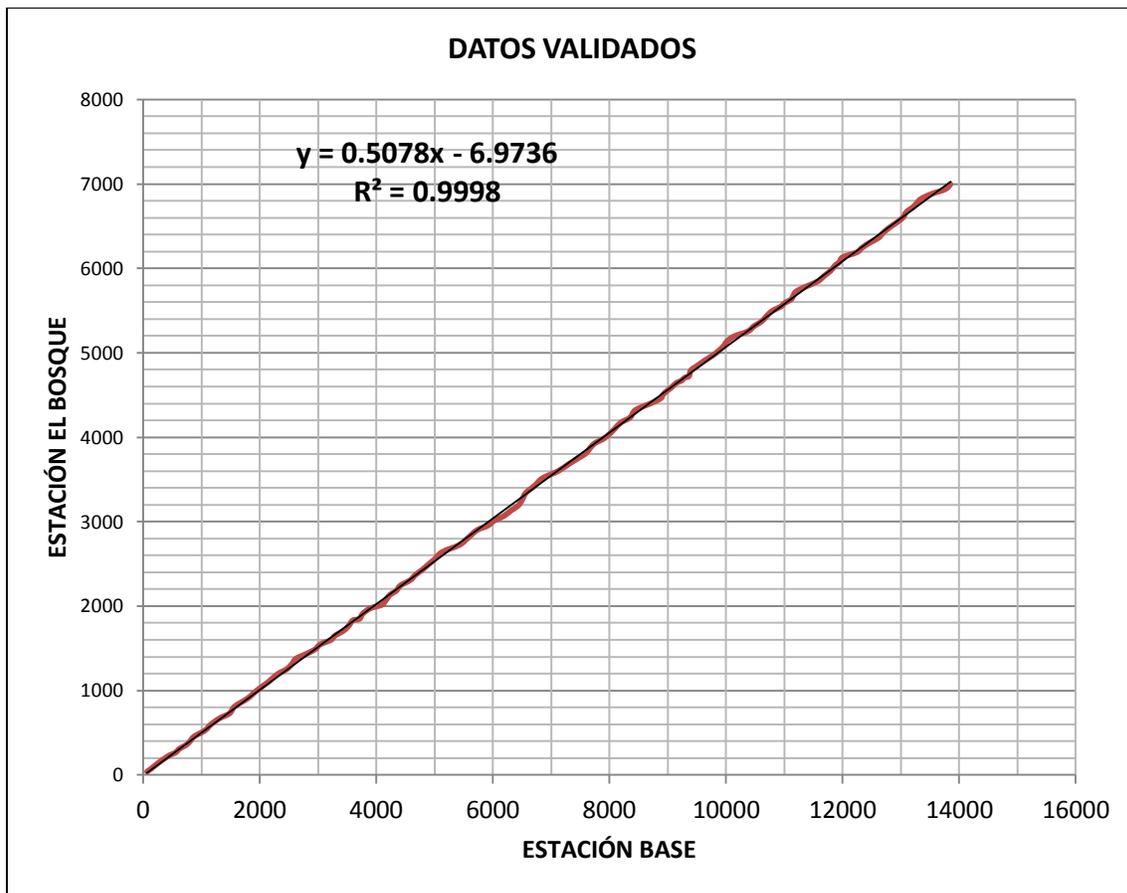


Figura N° 15 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– El Bosque

- **Corrección estaciones La Picota y Navarco**

Estas estaciones no se les hizo corrección ya que su curva de doble masa arrojó como resultado un comportamiento de los datos bastante aceptables, los cuales no requieren de dicha corrección, a continuación se muestra en las Figura N° 16 y Figura N° 17 de cada estación para corroborar lo anteriormente señalado.

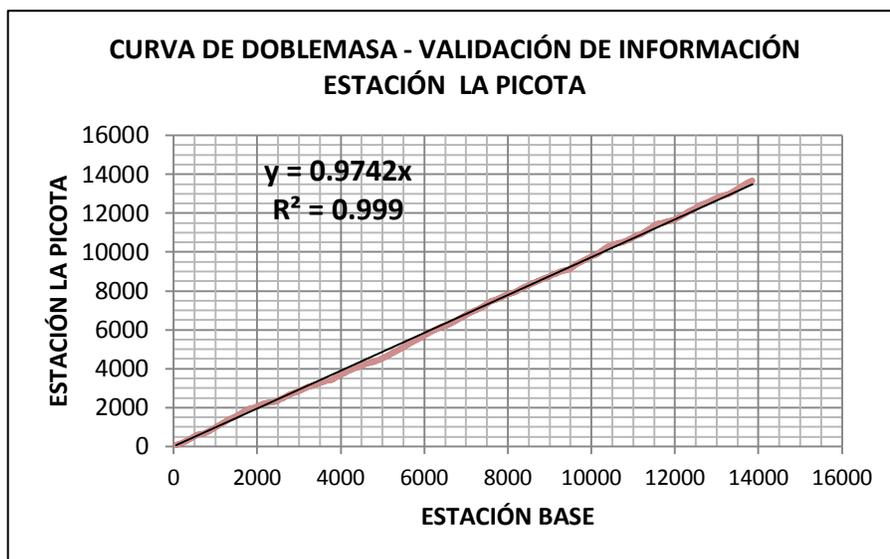


Figura N° 16 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Picota

Se observa en la Figura N° 16 como la recta es casi igual a la línea de tendencia, solo existe una serie de datos que se alejan una distancia mínima, pero que si se quiere corregir llevaría a un cambio innecesario de la gráfica ya que por lo dicho anteriormente estos datos por ser a escala mensual no son tan precisos y corregirlos llevaría a un error más grande e innecesario.

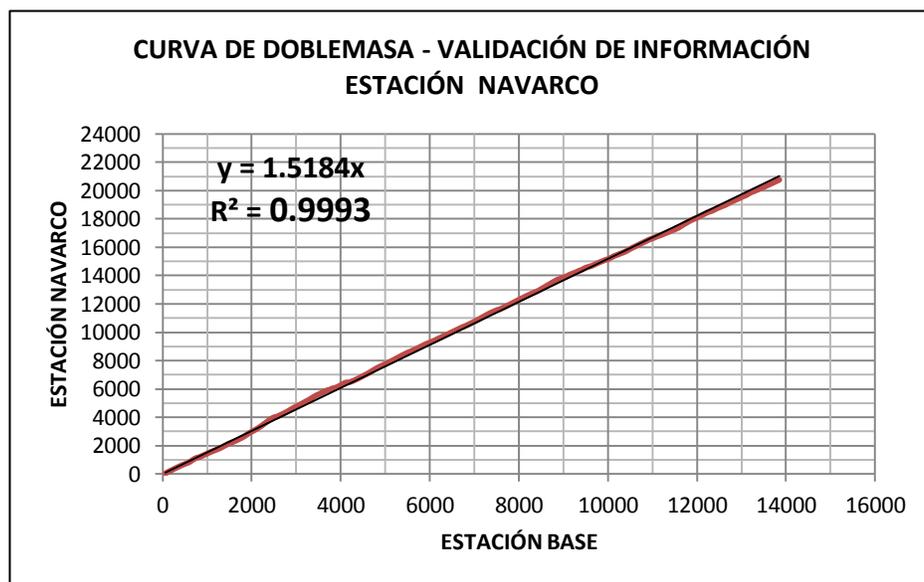


Figura N° 17 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Navarco

La Figura N° 17 tiene un comportamiento casi recto, con algunas variaciones sin consideración, dichos datos son aptos para trabajar sin ningún problema.

- **Estación Base N° 2:**

Esta estación base está integrada por las estaciones de Bremen, La Playa y CRQ; al igual que para las estaciones de La Picota y Navarco, no fue necesario corregir la información para ninguna de las tres (3) estaciones pertenecientes a la estación base N° 2. A continuación se muestra la curva de doble masa para las tres (3) estaciones en mención.

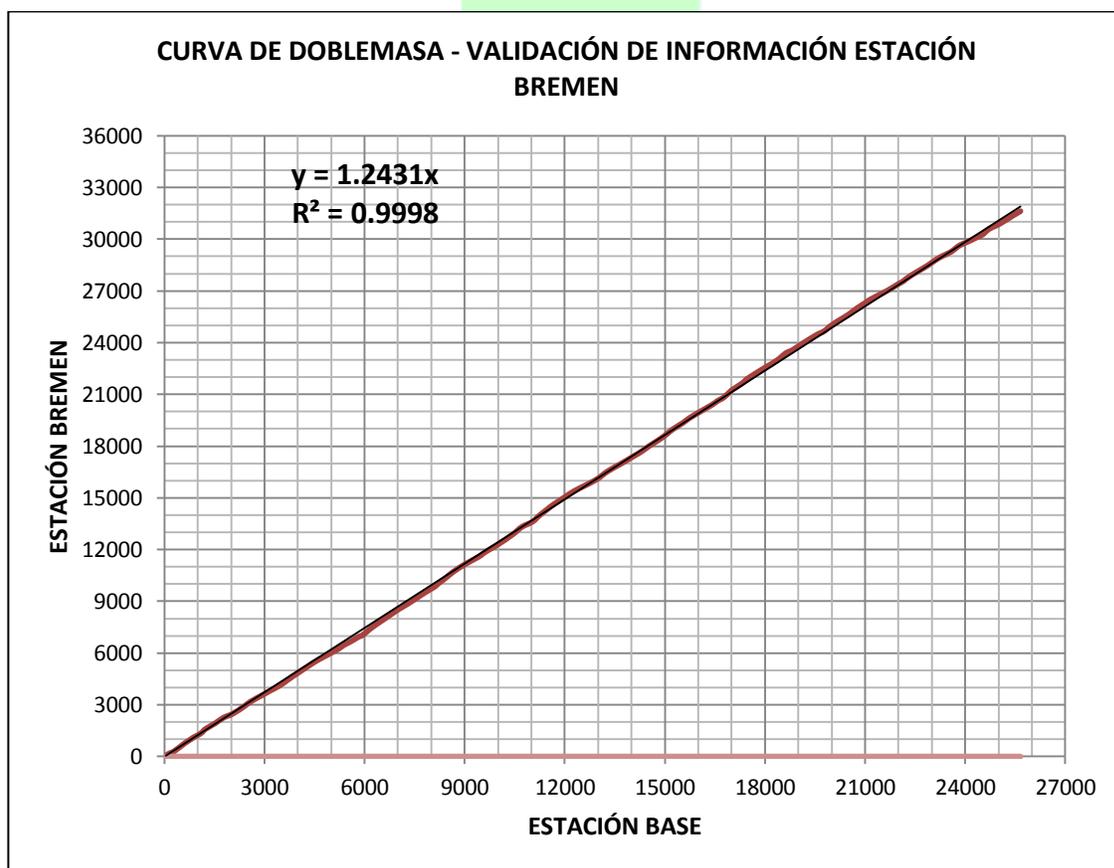


Figura N° 18 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Bremen

En la Figura N° 18 se evidencia un comportamiento mucho mejor que el mostrado en las estaciones anteriores y demuestra que dichos datos son de total confiabilidad.

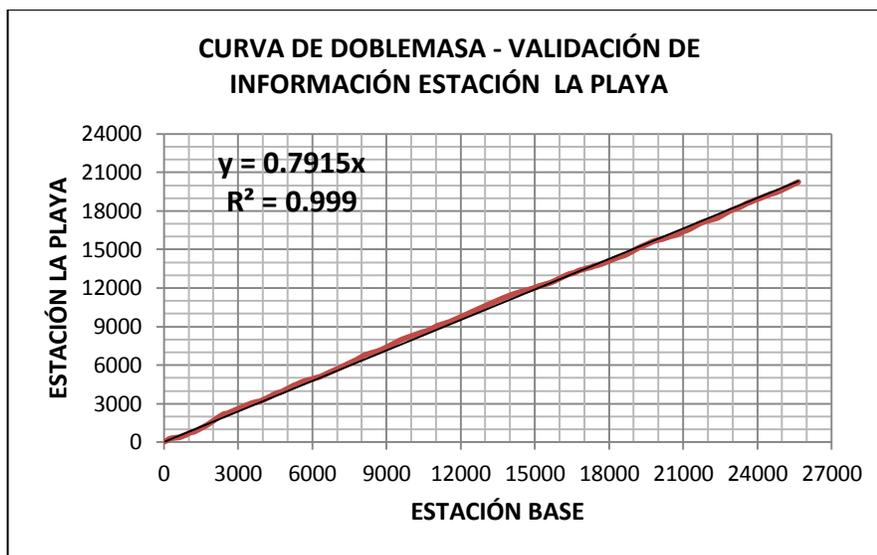


Figura N° 19 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Playa

Como lo muestran la Figura N° 19 y Figura N° 20 no hay mucha diferencia con lo comentado anteriormente, son estaciones que tienen un comportamiento aceptable y que por consiguiente los resultados que se obtengan en la investigación con estos datos son relativamente confiables.

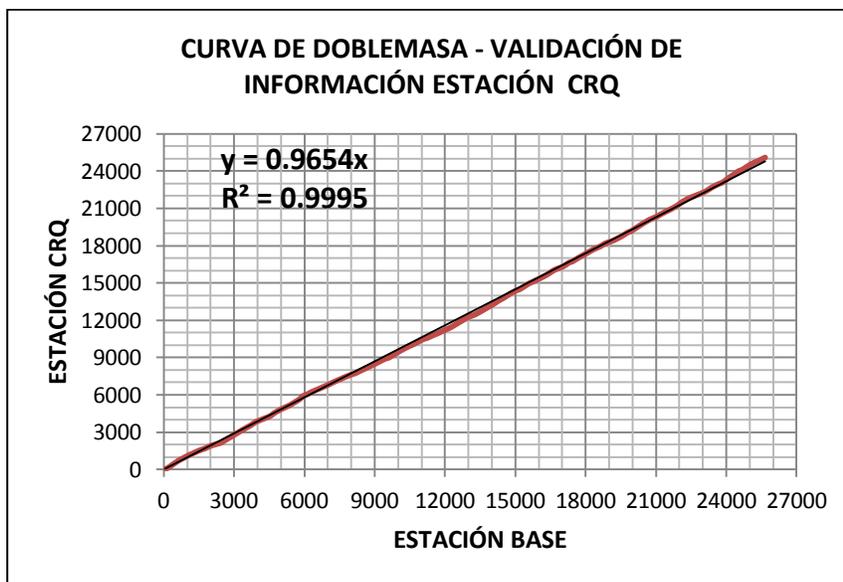


Figura N° 20 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– CRQ

- Estación Base N° 3:

Esta estación base está integrada por las estaciones de Edén, Centro de la Guadua y La Sierra. Sucede lo mismo que en la estación base N° 2, no se realizaron correcciones porque no eran necesarias. A continuación se presentan las curvas de doble masa para dichas estaciones.

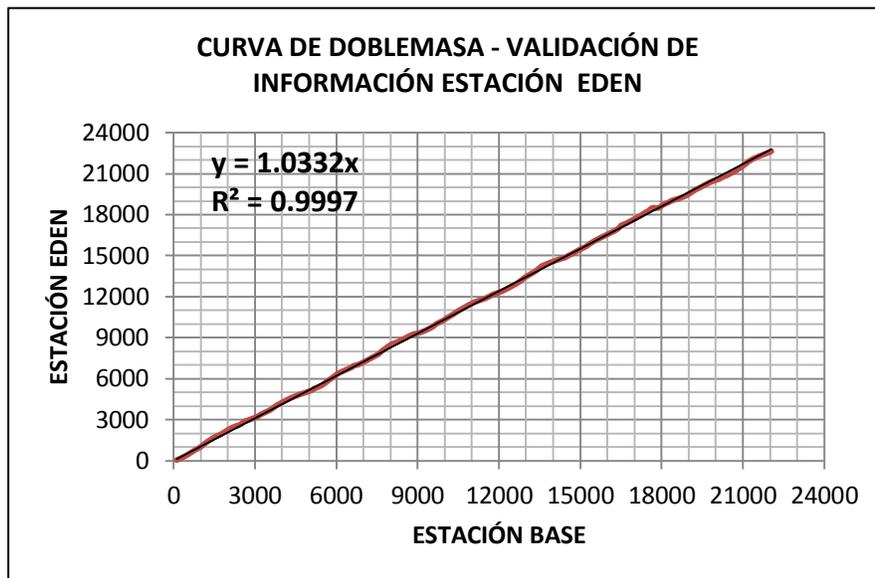


Figura N° 21 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Edén

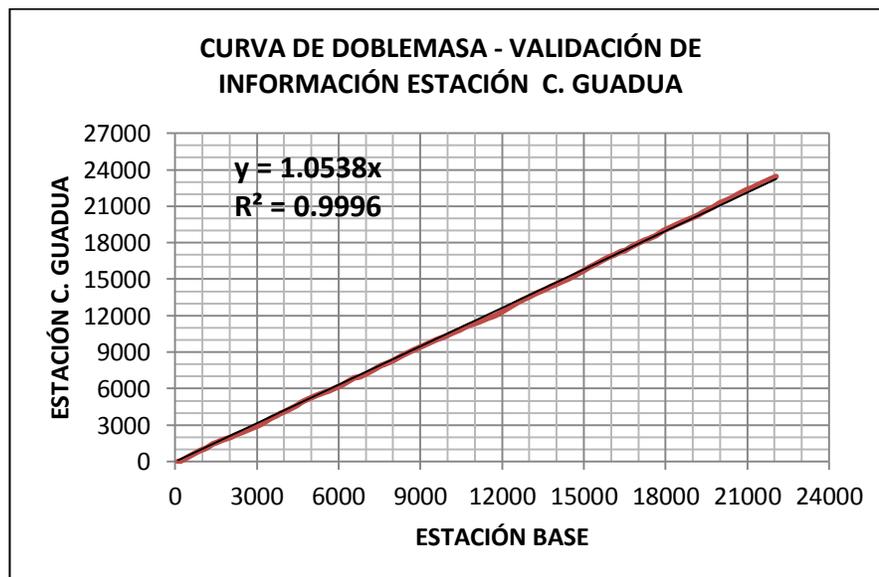


Figura N° 22 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– Centro de la Guadua

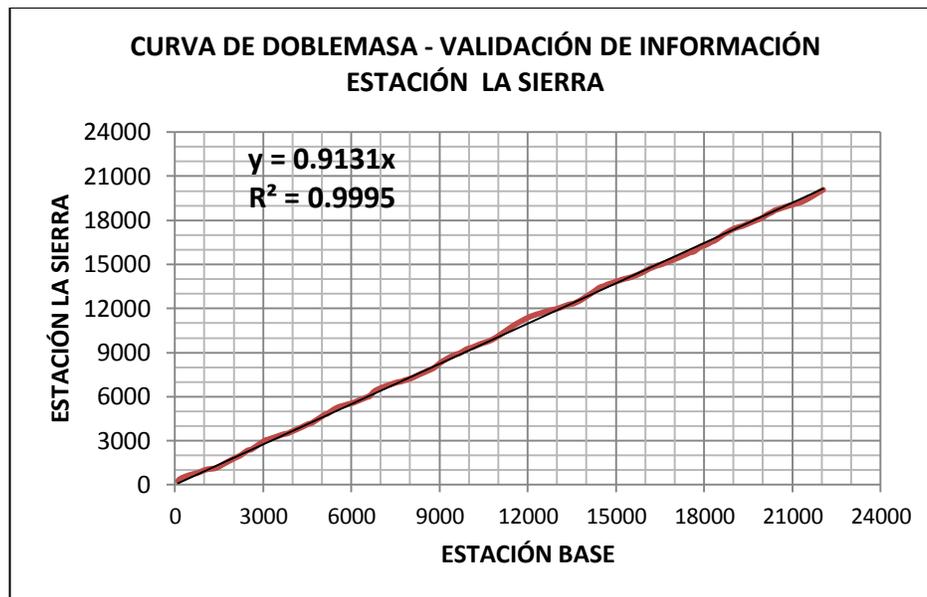


Figura N° 23 Curva de Doble masa de precipitación sin corregir– La Sierra

6.2.2.2 Corrección de datos de evapotranspiración:

Al hacer el análisis de los datos de evapotranspiración y dividiendo las estaciones de la misma manera, se llegó a la conclusión de que ninguna estación requiere de corrección ya que todas presentan un comportamiento óptimo sin variantes relevantes; a continuación se muestran las estaciones base con sus respectivos integrantes y las curvas de doble masa.

- **Estación base N° 1:**

Al igual que con los datos de precipitación esta estación está conformada por las estaciones de El Bosque, La Picota y Navarco. No se presentaron problemas con la homogeneidad de la información por lo que se presume que dicha información es óptima para el desarrollo de la investigación.

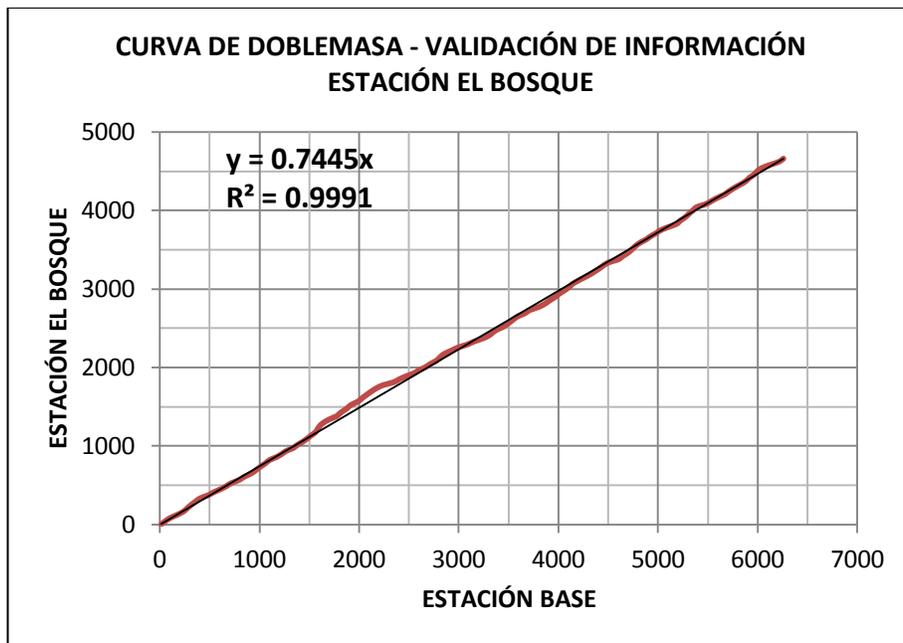


Figura N° 24 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– El Bosque

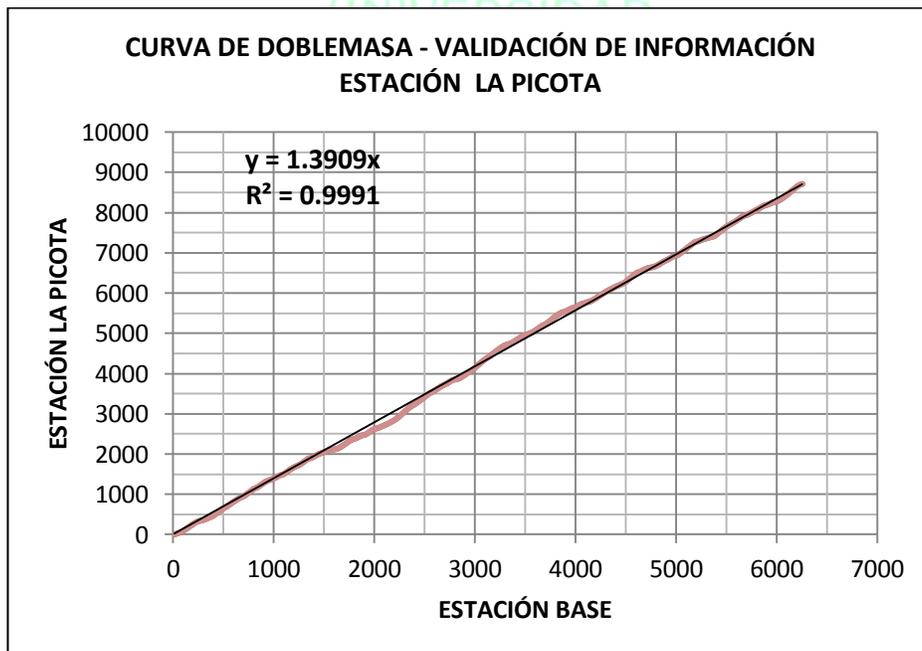


Figura N° 25 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Picota

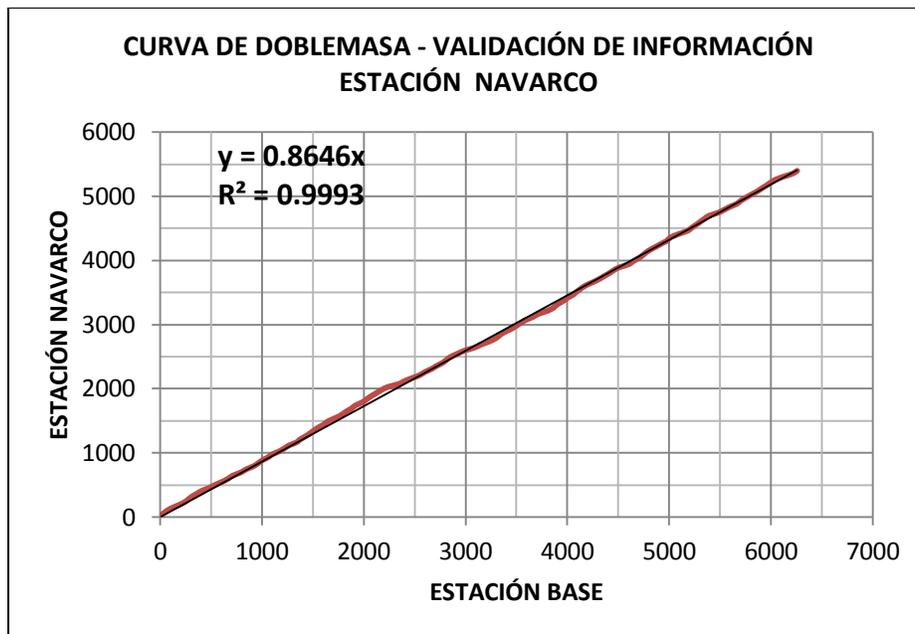


Figura N° 26 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Navarco

- Estación base N° 2:

Esta estación está conformada por las estaciones de Bremen, La Playa y CRQ.

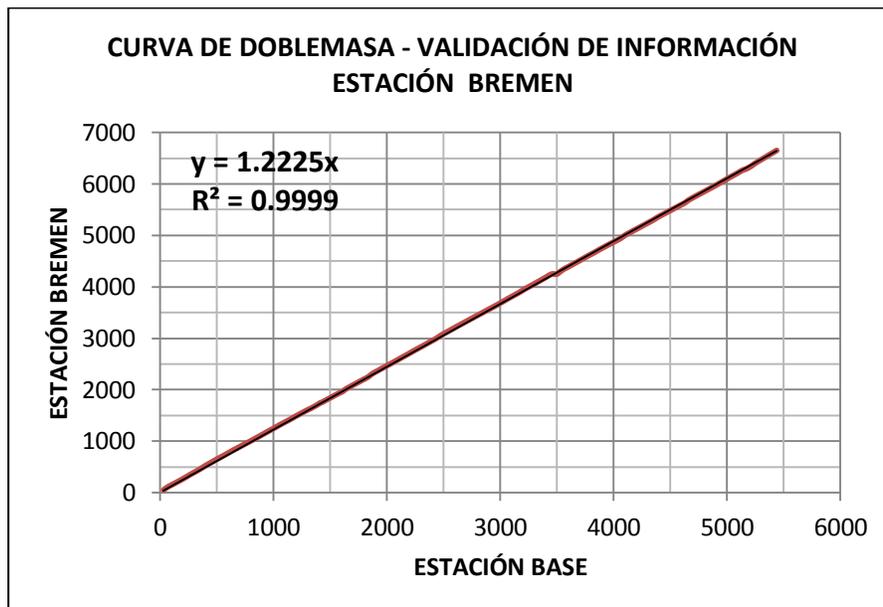


Figura N° 27 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Bremen

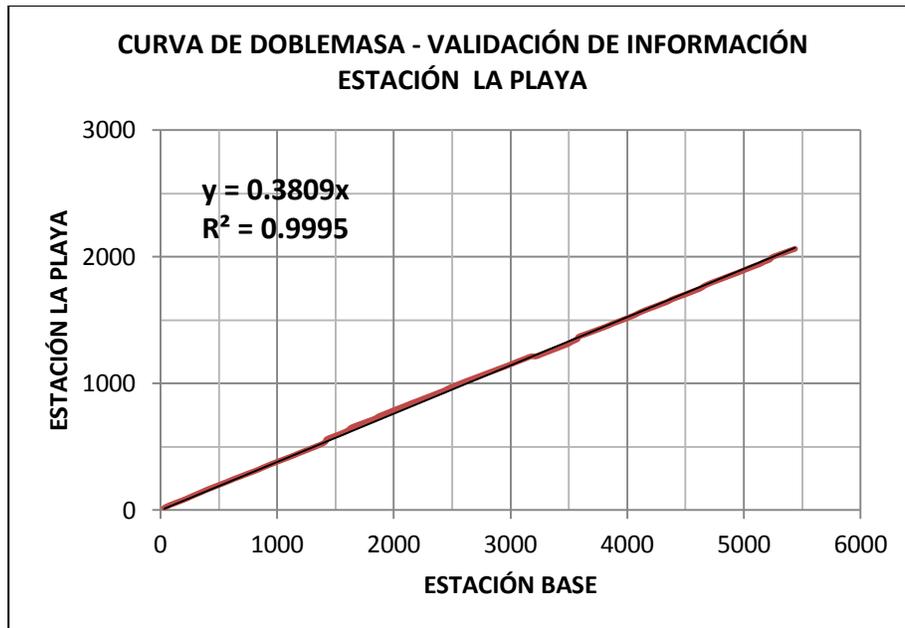


Figura N° 28 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Playa

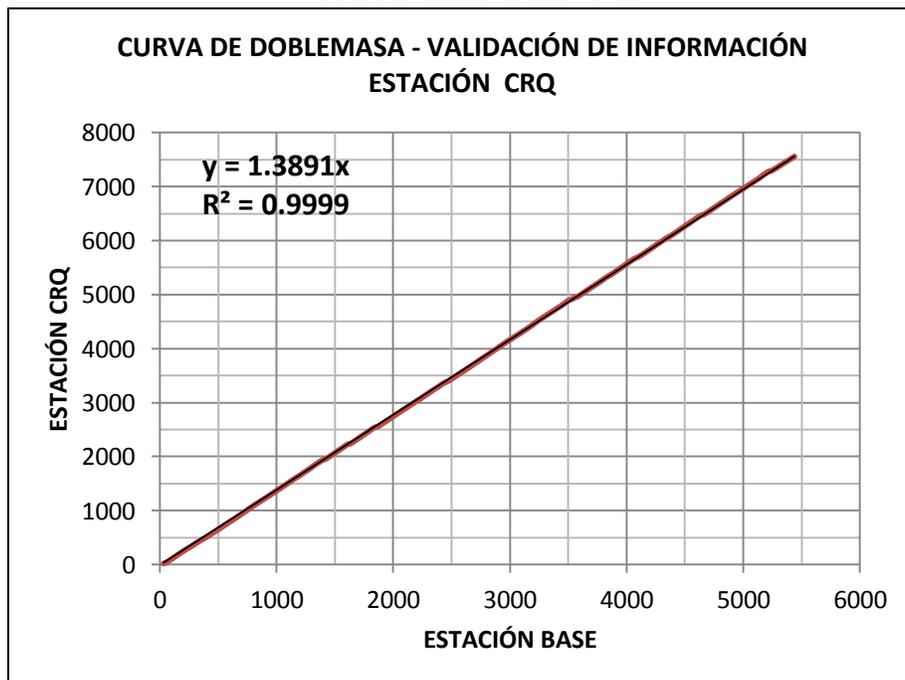


Figura N° 29 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– CRQ

- Estación base N° 3:

Esta estación está conformada por las estaciones de Edén, Centro de la Guadua y La Sierra.

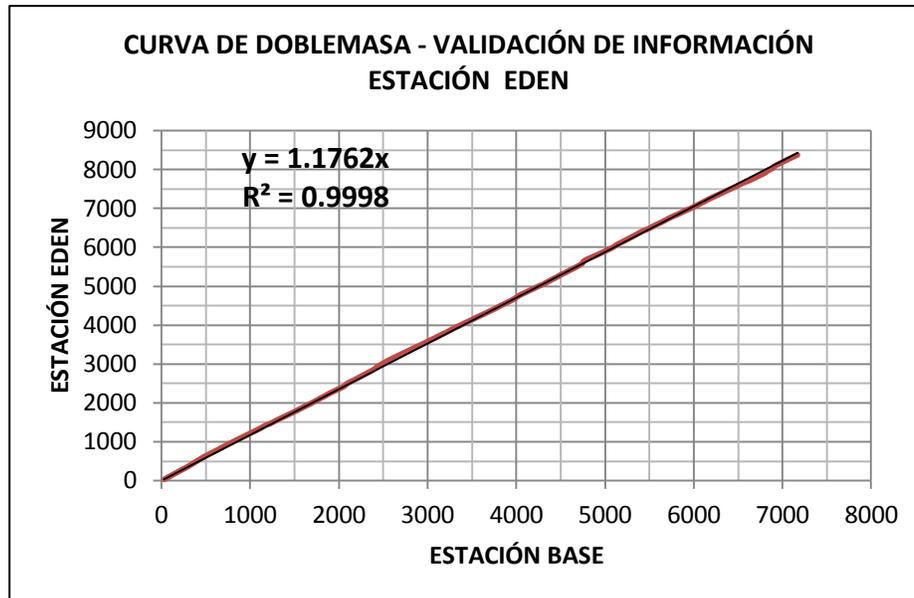


Figura N° 30 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Edén

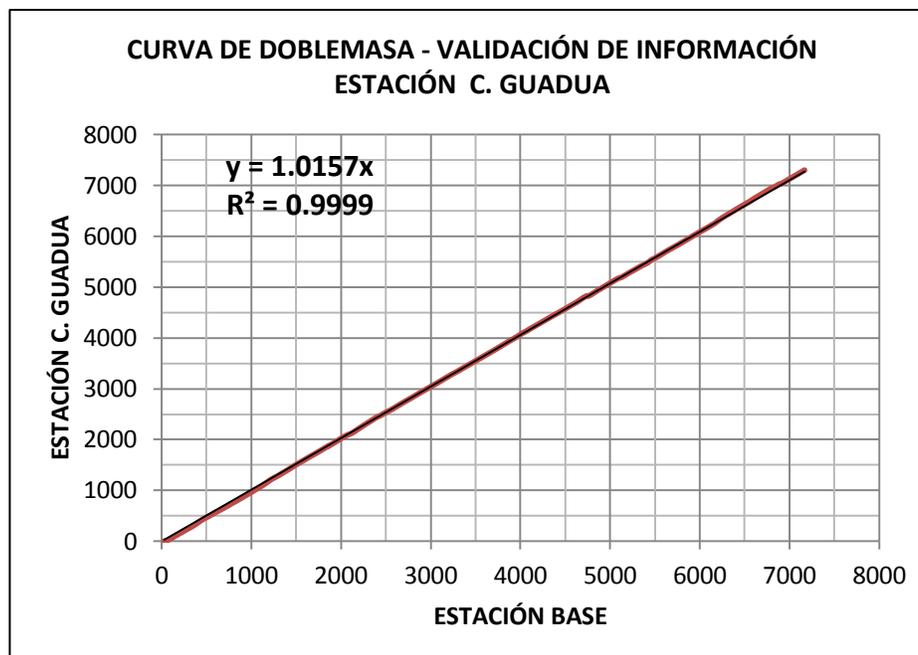


Figura N° 31 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– Centro de la Guadua

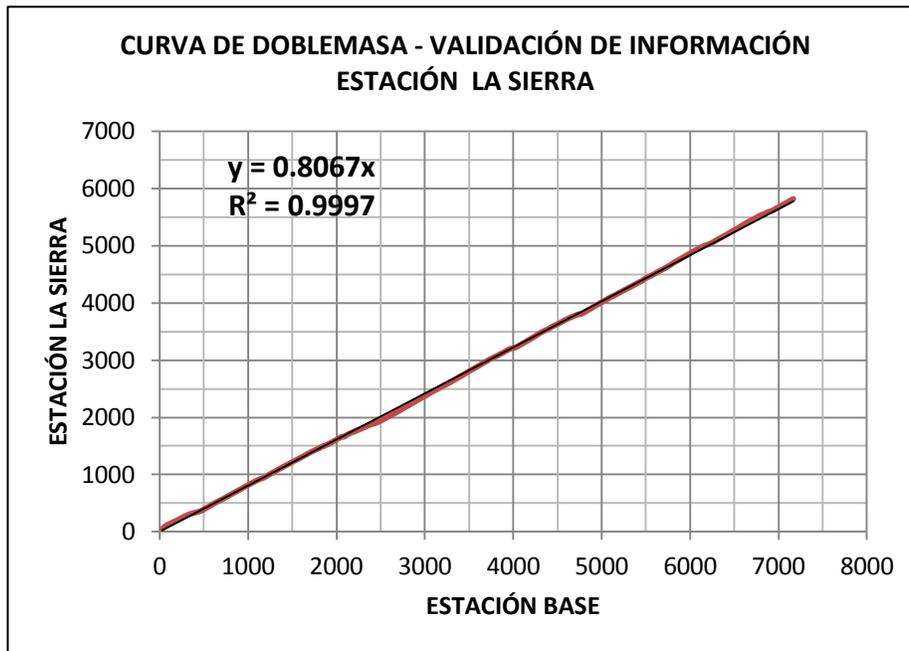


Figura N° 32 Curva de Doble masa de evapotranspiración sin corregir– La Sierra

Claramente se puede observar cómo para todas las estaciones los datos son altamente confiables, algunas alcanzan un $R=0.9999$, casi perfecto, que indica que dichos datos son aptos para el desarrollo del proyecto.

Después de validar la información secundaria se procede a realizar nuevamente la restitución a régimen natural mediante el Sistema Soporte de Decisión SSD WEAP.

6.3 ERROR O INCERTIDUMBRE

Para tener una incertidumbre mucho menor con los resultados obtenidos de la validación es necesario hacer un análisis del nivel de confianza que se tiene de la información original contrastada con la información obtenida de dicha validación para así determinar si los datos originales son lo suficientemente confiables para desarrollar tranquilamente el análisis o es necesario reemplazarlos con los datos obtenidos de la homogenización de la información.

Para determinar el nivel de confianza se trabaja con la metodología propuesta por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) la cual obtiene una desviación típica de los datos para una relación no lineal de dos (2) variables. En las mediciones hidrológicas, es muy raro que una medición pueda repetirse bajo las mismas condiciones de campo. La desviación típica debería, por lo tanto,

determinarse mediante el uso de datos de variables no estables (como en el caso de la curva de caudales). Para la estimación de esta desviación típica se utiliza la siguiente ecuación:

$$s_y = \left[\sum \left(\frac{y_m - y_c}{\frac{y_c}{n-1}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Donde,

S_y: desviación típica

y_m: Valor medido

y_c: Valor calculado

A partir de esta información se procede a obtener la incertidumbre de la información. La intervalo dentro del cual cabe esperar que se sitúe el valor verdadero de una magnitud con una probabilidad establecida. NOTA: el valor numérico de la incertidumbre es el producto de la desviación típica real de los errores y de un parámetro numérico cuyo valor depende del nivel de confianza (OMM, 1994):

$$e = \pm \alpha \sigma_y \approx \pm \alpha s_y$$

La desviación típica *s_y*, calculada a partir de *n* observaciones, se aproxima a la desviación típica real, *σ_y*, como *n* se aproxima al infinito. En el caso de una distribución normal de errores, los parámetros numéricos se muestran en la Tabla N° 28.

NIVEL DE CONFIANZA	α
0.5	0.674
0.6	0.842
0.66	0.954
0.8	1.282
0.9	1.645
0.95	1.960
0.98	2.326
0.99	2.576
0.999	3.291

Tabla N° 28. Nivel de confianza

La exactitud recomendada depende sobre todo del uso previsto de los datos medidos (objetivo de la medición), de los instrumentos potencialmente disponibles, y de los recursos financieros

disponibles. Por lo tanto, no puede ser un valor constante, sino un rango flexible. Para la caracterización de la incertidumbre se usa un nivel de confianza al 95%, es decir que, en el cinco por ciento (5%) de los casos, el error podrá estar fuera del intervalo de confianza. La Tabla N° 29 contiene los niveles de exactitud recomendados, como una guía general para los instrumentos y métodos de observación. En muchos países, las normas nacionales regulan las exactitudes requeridas (OMM, 1994).

Precipitación (cantidad y forma)	3 - 7%
Intensidad del al lluvia	1 mm/h
Espesor de nieve (puntual)	1 cm debajo de 20 cm o 10% sobre 20 cm
Contenido de agua en la nieve	2.5 - 10%
Evaporación (puntual)	2.5%, 0.5 mm
Velocidad del viento	0.5 m/s
Nivel del agua	10 - 20 mm
Altura de ola	10%
Profundidad del agua	0.1m, 2%
Anchura de la superficie del agua	0.50%
Velocidad de la corriente	2 - 5%
Caudal	5%
Concentración de sedimento suspendido	10%
Transporte de sedimento suspendido	10%
Transporte de carga de fondo	25%
Temperatura del agua	0.1 - 0.5°C
Oxígeno disuelto (temperatura del agua mayor a 10°C)	3%
Turbidez	5 - 10%
Color	5%
pH	0.05 - 0.1 unidades de pH
Conductividad eléctrica	5%
Espesor de hielo	1 - 2cm, 5%
Capa de hielo	5% para $\geq 20\text{kg/m}^3$
Humedad del suelo	1kg/m ³ para $\geq 20\text{kg/m}^3$

Tabla N° 29. Exactitud recomendada (Niveles de incertidumbre) expresada al 95% del intervalo de confianza.

Este análisis se realizó para las dos (2) estaciones limnigráficas a las cuales se les validó la información mediante la curva de doble masa debido a que son estas las estaciones que poseen un mayor atractivo hidrológico, económico y sociocultural. Para la información de precipitación y evapotranspiración real no es necesario realizar este tipo de análisis ya que esta no posee inconvenientes severos de variación en el comportamiento de los datos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos a partir del desarrollo de este análisis para las estaciones limnigráficas de Bocatoma EPA en el río Quindío y Palestina Baja en el río Navarco y las respectivas conclusiones.

6.3.1 Bocatoma EPA

A los datos de la Bocatoma EPA se le hizo el análisis de nivel de incertidumbre, arrojando como resultado lo siguiente:

Sy (%)	Nivel de Confianza	α	e (%)
0.00315689	0.95	1,960	6.19

Tabla N° 30. Incertidumbre obtenida para la estación Bocatoma EPA

La incertidumbre para dicha información es del 6.19%, y aunque este valor que supera el máximo permitido para caudal dado por la Tabla N° 30, la cual es del 5%, si se tiene en cuenta la cantidad de variables que existen e interactúan en una cuenca hidrográfica, esta diferencia no es tan significativa, por lo tanto se puede concluir que los valores originales obtenidos de la estación limnigráfica de Bocatoma EPA aunque no son del todo confiables, son aptos para el desarrollo total de estudio sin sufrir modificaciones sustanciales.

6.3.2 Palestina Baja – Navarco

Para la información de la estación de Palestina Baja ubicada sobre el Río Navarco se hizo el mismo tipo de análisis arrojando los siguientes resultados:

Sy (%)	Nivel de Confianza	α	e (%)
0.00414898	0.95	1,960	8.13

Tabla N° 31. Incertidumbre obtenida para la estación Palestina Baja

La incertidumbre para esta estación es del 8.13%, y al igual que con la información de la Bocatoma EPA, al presentarse la variabilidad de condiciones característica de un cuenca hidrográfica, y al tener una inseguridad bastante grande de la información obtenida en la estación de Palestina Baja ya que dicha estación ha presentado problemas de funcionamiento a lo largo del tiempo, dicho resultado aunque está por encima del máximo permitido (5%), permite concluir que la información procesada de dicha estación es apta para el desarrollo total del proyecto sin ser validada.

De esta manera se puede establecer con mayor seguridad si la información secundaria que se obtiene de las estaciones hidrológicas y limnigráficas permite desarrollar estudios de investigación sin que los resultados que se obtengan de estos presenten desfases considerables simulando de forma equivocada el comportamiento real de las variables que interactúan en una cuenca hidrográfica.

7.0 RESTITUCION DE CAUDALES A REGIMEN NATURAL DE LA UMC RÍO QUINDIO MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP

7.1 DESCRIPCION DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP

En general, este modelo hidrológico es espacialmente continuo con un área de estudio configurado como un set de subcuencas contiguas que cubren toda la extensión de la cuenca de análisis. Un set homogéneo de datos climáticos (precipitación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento) es utilizado en cada una de estas subcuencas, que se encuentran divididas en diferentes tipos de cobertura/uso de suelo. Un modelo cuasi físico unidimensional, con dos receptáculos de balance de agua para cada tipo de cobertura/uso de suelo, reparte el agua entre escorrentía superficial, infiltración, evaporación, flujo base y percolación. Los valores de cada una de estas áreas se suman para obtener los valores agregados en una subcuenca. En cada tiempo de corrida del modelo, WEAP calcula primero los flujos hidrológicos, que son traspasados a los ríos y acuíferos asociados. La distribución de agua se realiza para el mismo tiempo de corrida, donde las restricciones relacionadas con las características de los embalses y la red de distribución, las regulaciones ambientales y a la vez las prioridades y preferencias asignadas a diferentes puntos de demanda son usadas como condiciones de operación de un algoritmo de programación lineal que maximiza la satisfacción de demanda hasta el mayor valor posible. (*Guía Metodológica*).

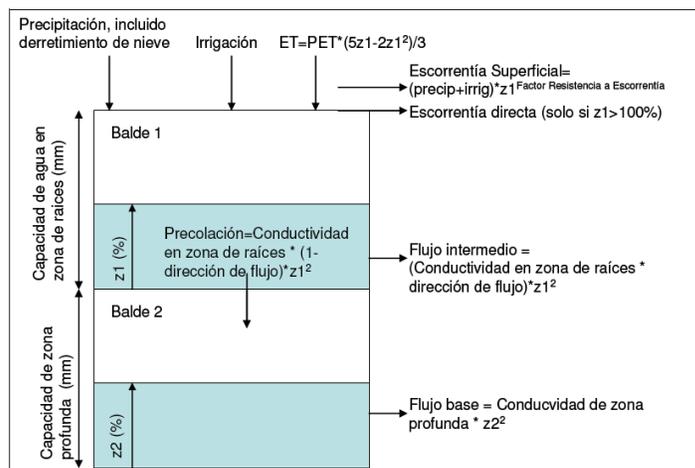


Figura N° 33 Elementos hidrológicos modelados en WEAP
FUENTE: (SEI and UG, 2009)

7.2 CATCHMENT O UNIDAD BASICA DE MODELACION HIDROLOGICA

El Catchment es un área definida por el usuario en el esquema del WEAP en el cual se pueden especificar procesos tales como: precipitación, evapotranspiración, escorrentía, irrigación y usos del suelo.

El Catchment corresponde a zonas de captación o cuencas, estas tienen que ser definidas a través de procesos de delimitación de sub-cuencas; mediante este proceso se obtiene la caracterización de la cobertura vegetal necesaria, incluyendo el estimado de áreas y la distribución de cobertura vegetal dentro de cada zona de captación.

Dependiendo de la disponibilidad de los datos para la alimentación del modelo y la precisión que se desee para el mismo se puede utilizar cualquiera de los tres (3) métodos existentes para simular los procesos hidrológicos del Catchment.

7.3 METODOS PARA SIMULAR PROCESOS HIDROLOGICOS EN SSD WEAP

7.3.1 Método solo de riego (FAO)⁶

De los tres métodos este es el más simple, este método usa coeficientes de cultivo (Kc) para calcular la evapotranspiración potencial del catchment, a continuación determina la posible demanda de riego que puede ser requerida para cumplir con la porción de evapotranspiración requerida que la lluvia no puede cumplir. Este método no simula procesos de escorrentía e infiltración.

7.3.2 Método Lluvia Escorrentía (FAO)

El método lluvia escorrentía también determina evapotranspiración para riego y secado de cultivos usando coeficientes de cultivo (Kc). El resto de la lluvia que no es consumido por la evapotranspiración es simulado como escorrentía, esta puede ser distribuida entre escorrentía superficial en el río y flujo de infiltración hacia aguas subterráneas.

⁶ FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

7.3.3 Método Lluvia Escorrentía (Método de la Humedad del Suelo)

De los tres métodos este último es el más complejo, representa el Catchment con dos capas de suelo, así como la potencial acumulación de nieve. En la capa superior se simula la evapotranspiración potencial considerando la lluvia y el riego de suelos agrícolas y no agrícolas, la escorrentía, el flujo interno poco profundo y los cambios de la humedad en el suelo. Este método permite la caracterización del uso del suelo y el tipo de impacto de estos procesos en el suelo. El flujo base en el río y los cambios de humedad en el suelo son simulados en la capa inferior del suelo. Por lo tanto este método requiere una mayor caracterización de la cuenca y parametrización de los datos climáticos. (Sieber, 2007)

7.4 PROCESO DE APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP

Definición del estudio: Se define el marco temporal, los límites espaciales, componentes del sistema y la configuración del problema.

Búsqueda de la información: Se lleva a cabo la recolección de datos de acuerdo al tipo de estudio que se quiera realizar.

Desarrollo del modelo: En esta etapa se lleva a cabo la construcción del esquema, selección del método lluvia-escorrentía, entrada de datos, corridos iniciales del modelo para observar su comportamiento y para eliminar errores e inconsistencias.

Calibración: Se lleva a cabo la caracterización de la oferta y la demanda actual del agua, las cargas contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema.

Uso del modelo: Generación de escenarios, explorar impactos que tendrían una serie de supuestos sobre las políticas futuras.

7.5 APLICACIÓN DEL MODELO HIDROLOGICO DEL SSD WEAP EN LA UMC RÍO QUINDÍO

7.5.1 DEFINICIÓN DEL ESTUDIO

Alcance del modelo: Lo que se desea con este modelo es poder simular el comportamiento hidrológico en la UMC Río Quindío, El cual permita cuantificar la cantidad de agua superficial disponible en la cuenca para poder estimar los caudales ecológicos en los tramos del río.

Delimitación Espacial/Esquema:

- **UMC Río Quindío:** Para el proyecto “Estimación de caudales Ecológicos en la UMC Río Quindío”, el punto de interés aguas abajo que permite la delimitación de la cuenca es la confluencia entre el río Quindío y el río Barragán donde se forma el río La Vieja.
- **Puntos de manejo:** Los puntos de manejo son aquellos a partir de los cuales se delimitan puntos de cierre de las subcuencas, entre los cuales se tiene: estaciones de monitoreo de caudal (Bocatoma EPA, Palestina baja “Navarco”, Centro de la Guadua y Calle Larga), confluencias de ríos importantes (R. Boquerón-R. Navarco, R. Navarco-R. Quindío, R. Sto. Domingo-R. Verde, R. Verde-R. Quindío, Q. La Florida-R. Quindío, Q. El Pescador-R. Quindío), localización de canales de extracción de agua (Canales de desviación PCH’s).

Una vez definidos los puntos de manejo se obtiene un total de 9 Sub-cuencas para representar el modelo hidrológico de la UMC Río Quindío, cada una de estas sub-cuencas será representada en el SSD WEAP con un elemento Catchment.

Delimitación temporal/Paso del tiempo:

- Periodo de simulación: Enero de 1995 a Diciembre de 2004.
- Paso del tiempo: escala mensual

Consideraciones de la demanda:

- Captación EPA: Municipio de Armenia
- Canales de captación PCH’s
- Captación acueducto del municipio de La Tebaida.



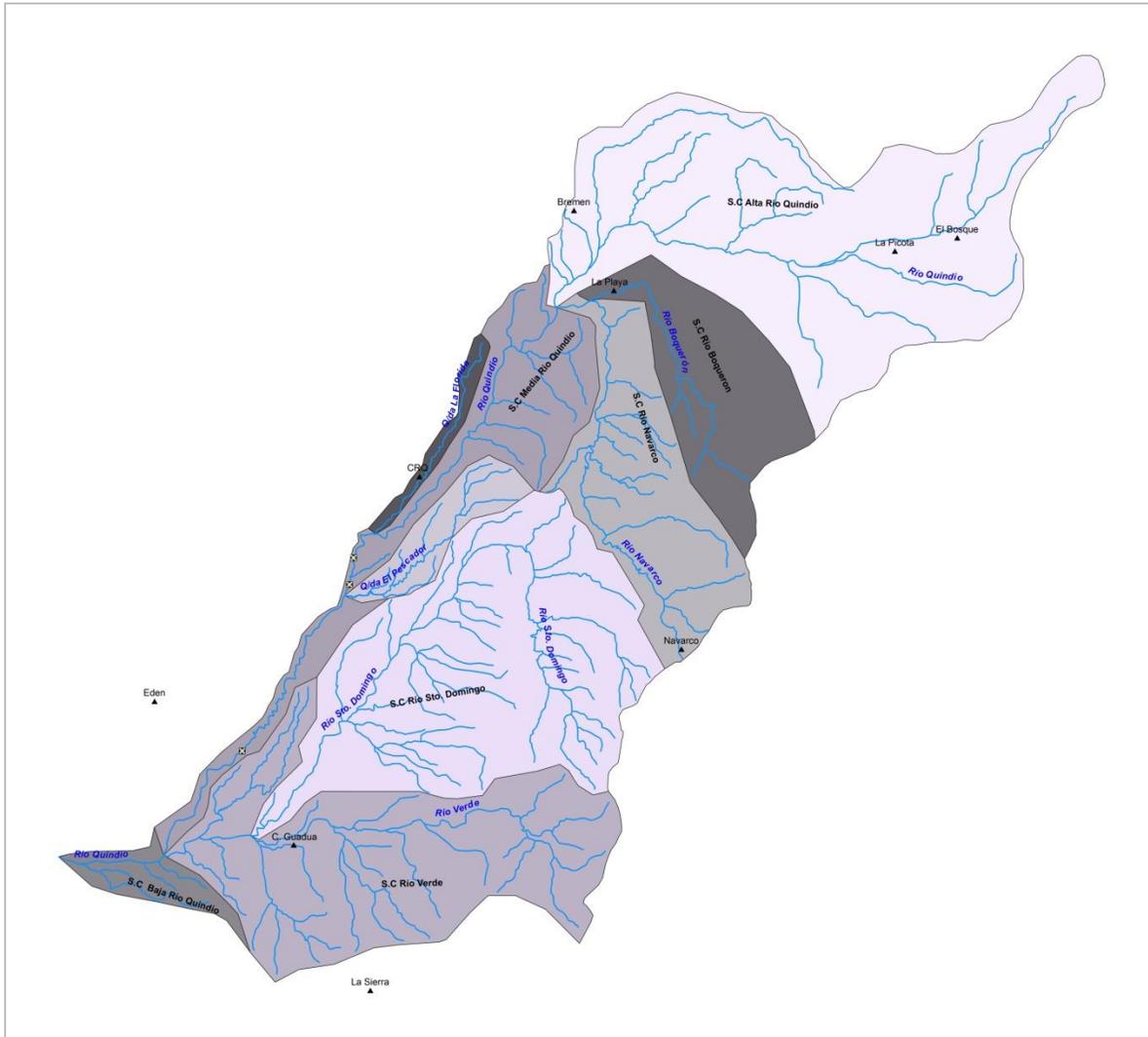


Figura N° 34 UMC Río Quindío



7.5.2 BUSQUEDA Y ANALISIS DE LA INFORMACION

La información para la construcción de este modelo fue suministrada por la CRQ, dicha información se limita a datos climáticos como lo son precipitación, temperatura, humedad del aire, brillo solar, evapotranspiración potencial y caudales medios diarios.

Igualmente se toma información ya procesada de algunos proyectos de grado relacionadas con el análisis del índice de escasez de agua en la UMC Río Quindío.

Una vez delimitada la cuenca se procede a identificar las estaciones climatológicas en el interior y periferia de la UMC Río Quindío, que cuenten con la mejor información de datos que permita realizar una buena parametrización del clima en la zona. Estas estaciones son: El Edén, La Sierra, Centro de la Guadua, CRQ, Navarco, La Playa, Bremen, La Picota y el Bosque.

Una vez analizada la información de estas estaciones se encuentra que la información más confiable y completa es la referente a precipitación en todas las estaciones. En cuanto a la evapotranspiración potencial se tienen registros en las estaciones: El Edén, Centro de la Guadua, CRQ, La Picota y El bosque. Y registros de temperatura en las estaciones: La Sierra, Navarco, La Playa y Bremen. Con estos registros de temperatura se procede a calcular la evapotranspiración potencial en dichas estaciones mediante el método de Thornthwaite.

Finalmente se identifica que el periodo de tiempo más confiable para la simulación del modelo es el comprendido entre 1995 a 2004, por ser el que presenta mayor cantidad de datos registrados en todas las estaciones climatológicas.

7.5.3 DESARROLLO DEL MODELO HIDROLOGICO EN SSD WEAP

7.5.3.1 Construcción del esquema

La construcción del esquema que representa los recursos hídricos de la UMC Río Quindío se hace mediante los diferentes elementos que relacionan la oferta hídrica y las demandas hídricas de esta. Entre estos elementos se tiene:

- **Oferta superficial:** Constituida por los ríos Quindío, Boquerón, Navarco, Sto. Domingo, Verde, quebrada El Pescador y quebrada La Florida. Representados en el esquema por elementos "River" (líneas de color azul).
- **Agua Sub-superficial:** el agua sub-superficial está constituida por el sistema de agua subterránea conocido como Glacis del Quindío. Representados en el esquema por elementos "Groundwater" (cuadro de color verde).
- **Unidades de demanda Urbana (UDU):** Las más destacadas son el municipio de Armenia y municipio de La Tebaida. Representados en el esquema por elementos "DemandSite" (Círculos de color rojo).
- **Unidades de demanda Hidroeléctrica (UDHE):** Estas hacen referencia a las pequeñas centrales hidroeléctricas PCH ubicadas a lo largo del cauce del río Quindío, las PCH son: Campestre, Bayona, La Unión y El Bosque. Estas están representadas por elementos "DemandSite" (Círculos de color rojo).

- **Unidades básicas de modelación hidrológica o Catchment:** Estas unidades van relacionadas con cada una de las 9 sub-cuencas obtenidas de la delimitación de la UMC Río Quindío, estas son: sub-cuencas del Río Quindío (Alta, Media, Baja), sub-cuenca Río Boquerón, sub-cuenca Río Navarco, sub-cuenca Río Sto. Domingo, sub-cuenca Río Verde, micro-cuenca quebrada La Florida y micro-cuenca de la quebrada El Pescador. En el esquema estas unidades básicas de modelación están representados por elementos Catchment (círculos de color verde).
- **Conexiones:** en el esquema hay diferentes tipos de conexiones tales como tomas, flujos de retorno y escorrentía o infiltración. Las tomas representan las captaciones de agua desde el río hacia una UDU/UDHE y en el esquema es identificada con elementos "Transmission Link" (líneas de color verde). Los flujos de retorno representan al agua que regresa al río desde una UDU/UDHE u otro tipo de demanda, en el esquema se identifica con el elemento "ReturnFlow" (líneas de color rojo). Finalmente conexiones de escorrentía e infiltración, que conectan al elemento catchment con un río o acuífero, en el esquema se representan con elementos "Runoff/Infiltration" (línea punteada de color azul claro).

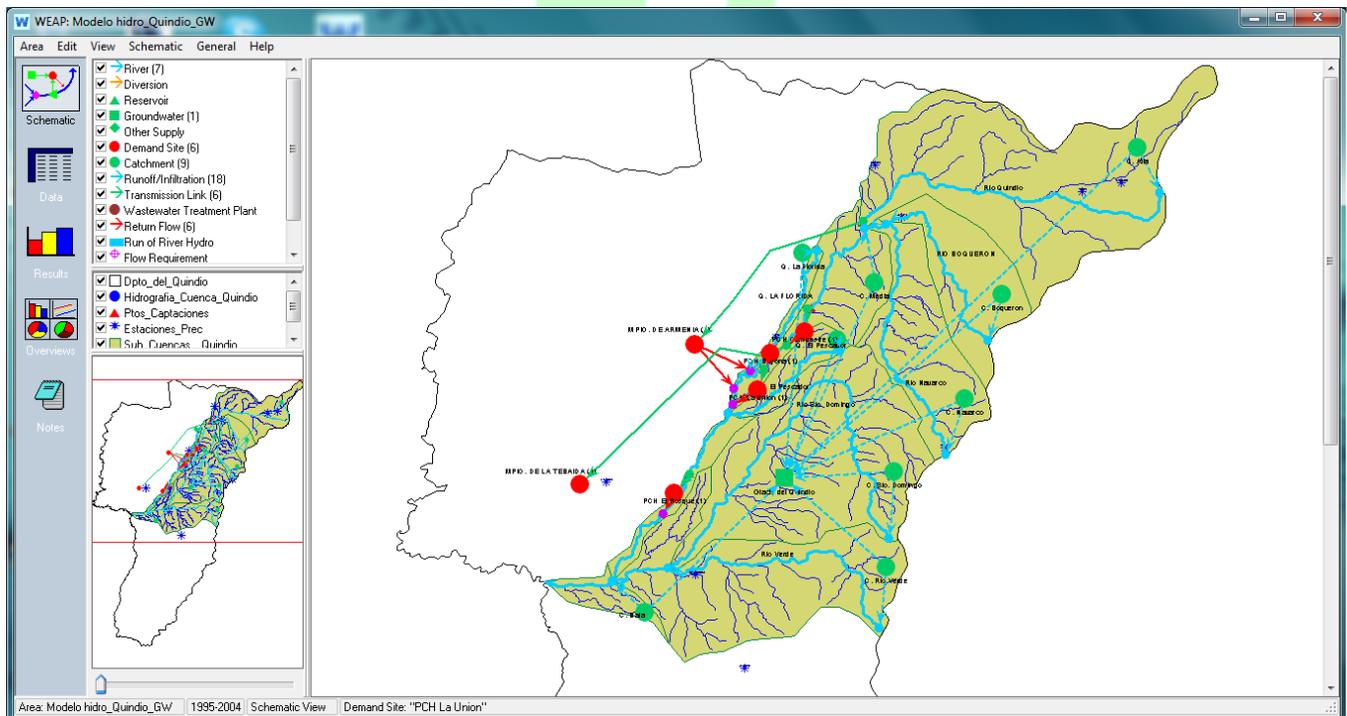


Figura N° 35 Esquema Modelo Hidrológico de la UMC Río Quindío en SSD WEAP

7.5.3.2 Selección del modelo Lluvia-Escorrentía

Una vez identificada y analizada la información disponible se decide que de los tres métodos existentes para la modelación hidrológica del catchment, el que más se ajusta a esta condición de

datos es el método “Lluvia-Escorrentía” de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), ya que para su alimentación se necesitan datos de precipitación, evapotranspiración de referencia, precipitación efectiva y coeficiente de cultivo (K_c).

✓ **Matriz de apoyo para la selección del modelo**

Criterio selección	Disponibilidad	Simula	TOTAL	Grado de complejidad
	de información	Escorrentía		
Método Lluvia-Esc.				
Método solo de riego (FAO)	1	0	1	Bajo
Método Lluvia Escorrentía (FAO)	1	2	3	Medio
Método Lluvia Escorrentía (Método de la Humedad del Suelo)	0	2	2	Alto

Calificación:

- Cumple satisfactoriamente = 2
- Cumple medianamente = 1
- No cumple / no existe = 0

Como se puede observar en la matriz de apoyo el método que obtiene el mayor puntaje es el método lluvia-escorrentía de la FAO.

7.5.3.3 Introducción de Datos



Sitios de demanda: Las demandas más representativas en la cuenca están definidas por unidades de demanda urbana UDU y unidades de demanda hidroeléctrica UDHE. Las UDU corresponden a los municipios de Armenia y La Tebaida y las UDHE corresponden a las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH's) Campestre, Bayona, La Unión y El Bosque. A continuación se presenta en la Figura N° 36 la cantidad de agua captada por cada uno de estos sitios de demanda, la unidad de medida es el m³/año. (Ver Tabla N° 32)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

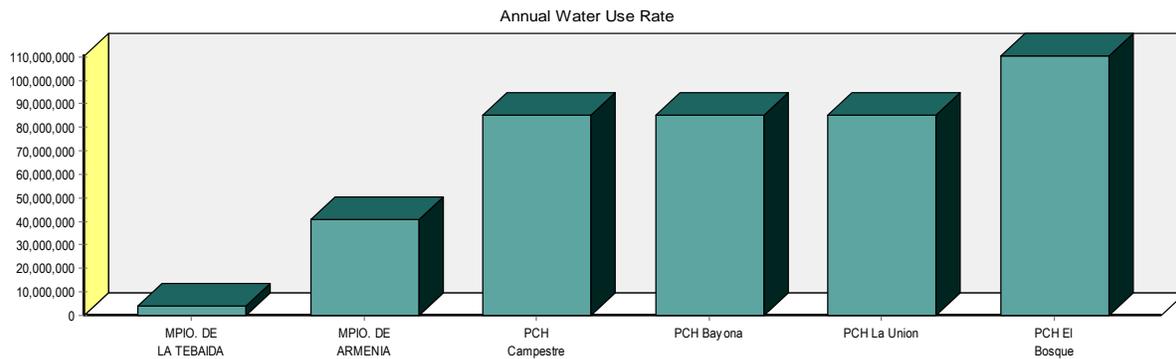


Figura N° 36 Cantidad de Agua Captada por las Unidades de Demanda

UDU / UDHE	CANTIDAD (m³/año)	Q (m³/s)
Municipio de Armenia	40.996.800	1.3
Municipio de la Tebaida	3.784.320	0.12
PCH Campestre	85.147.200	2.7
PCH Bayona	85.147.200	2.7
PCH La Unión	85.147.200	2.7
PCH El Bosque	110.376.000	3.5

Tabla N° 32. Cantidad de Agua Captada por las Unidades de Demanda
FUENTE: CRQ – EPA- EMPRESA MULTIPROPOSITO

Variación mensual de la demanda: Para este estudio la variación mensual de la demanda de agua se dejará constante ya que no existe un estudio que analice dicha variación, es decir no se conoce que meses tienen mayor consumo que otros. La variación mensual es proporcional al número de días de cada mes y se calcula dividiendo el número de días del mes entre el número de días del año, para WEAP el año es de 365 días, por lo tanto para este modelo la variación mensual de la demanda tendrá el siguiente comportamiento en cada uno de los sitios de demanda.

Mes	Nº Días	Variación mensual (%)
Enero	31	8.5%
Febrero	28	7.7%
Marzo	31	8.5%
Abril	30	8.2%
Mayo	31	8.5%
Junio	30	8.2%
Julio	31	8.5%
Agosto	31	8.5%
Septiembre	30	8.2%
Octubre	31	8.5%
Noviembre	30	8.2%
Diciembre	31	8.5%
TOTAL		100.0%

Tabla N° 33. Variación mensual de la demanda

Catchment: Los catchment deben ser alimentados con datos físicos como el área y datos de referencia y climáticos como coeficiente de cultivo (Kc), precipitación efectiva, evapotranspiración de referencia y precipitación. Para todos los catchment se selecciona la opción de que represente el Headflow del río a excepción de los catchment que representan la cuenca media y baja del río Quindío.

El **área** para cada catchment se ingresa en km², y fue determinada con el software Autocad en el cual se lleva a cabo la delimitación de estas unidades básicas de modelación; para cada catchment se ingresan las siguientes áreas:

CUENCA	AREA (Km ²)
Río Quindío Alta	200.6
Río Quindío Media	64.8
Río Quindío Baja	14.0
Río Boquerón	58.4
Río Navarco	73.1
Río Sto. Domingo	161.1
Río Verde	133.9
Q. la Florida	6.9
Q. El Pescador	18.3

Tabla N° 34. Áreas Subcuencas del río Quindío

En la Figura N° 37 se muestra las áreas totales de cada una de la sub-cuencas del río Quindío.

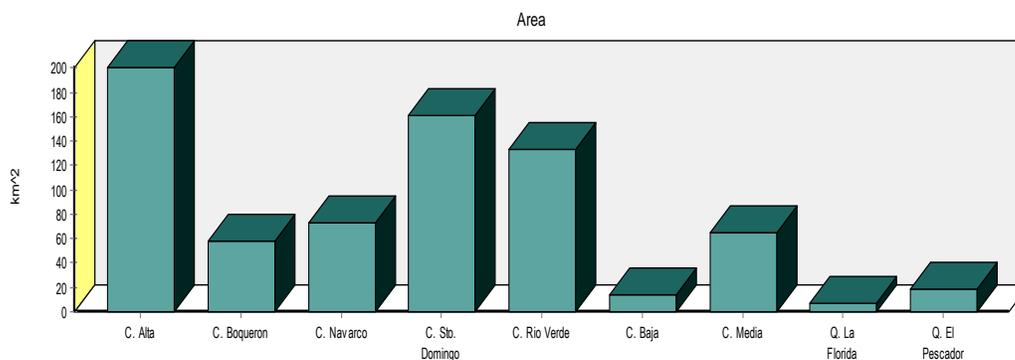


Figura N° 37 Áreas de las subcuencas del río Quindío

En lo referente al **Coefficiente de cultivo (Kc)** se toma igual a 1.0, debido a que no existen estudios para la región que nos permitan determinar este factor, el coeficiente será utilizado como parámetro de calibración del modelo hidrológico SSD WEAP.

La **precipitación efectiva** se asume como el 98% de la precipitación, esta es una manera de reconocer que durante el evento de la precipitación se está presentado el fenómeno de la evapotranspiración.

Para determinar la **precipitación** y la **evapotranspiración real** para cada uno de los catchment se utiliza el método de los polígonos de Thiessen para obtener un promedio ponderado de cada uno de estos parámetros climáticos, en la Figura N° 38 y Figura N° 39 se presentan las curvas referentes a la precipitación y evapotranspiración real.

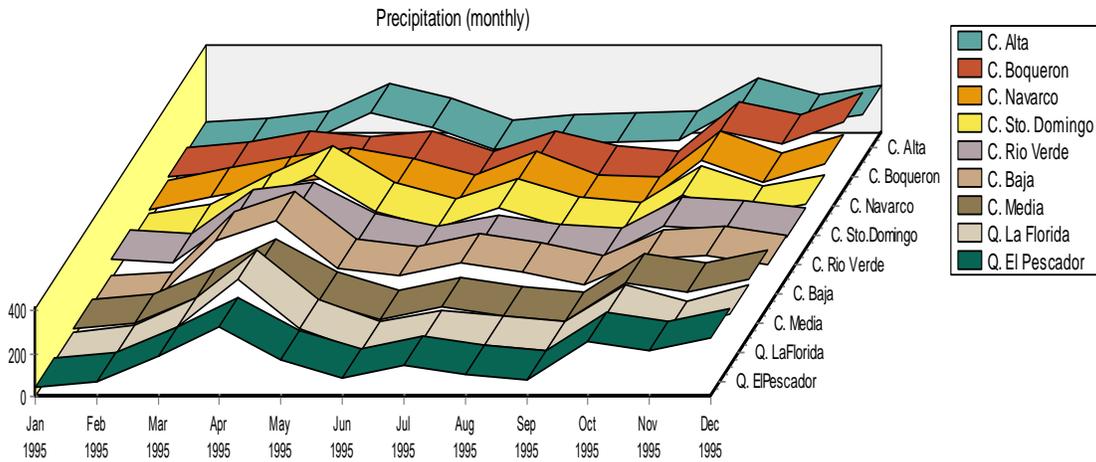


Figura N° 38 Gráfica de Precipitación

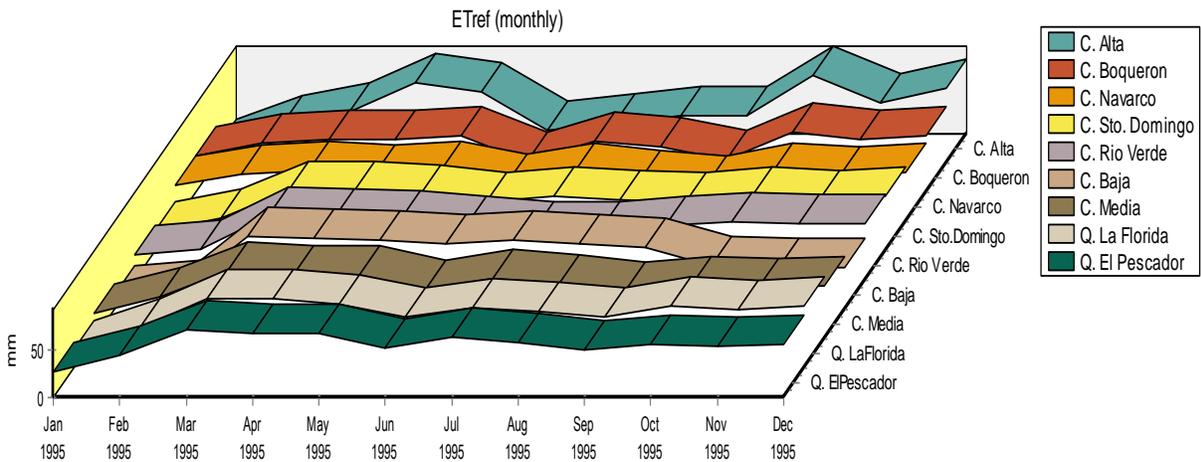


Figura N° 39 Gráfica de Evapotranspiración real

7.5.3.4 Ejecución del modelo

Una vez alimentado el modelo con la información del catchment se procede a ejecutarlo para que se lleven a cabo los cálculos de simulación del modelo hidrológico de la UMC Río Quindío tal como se muestra en la Figura N° 40.

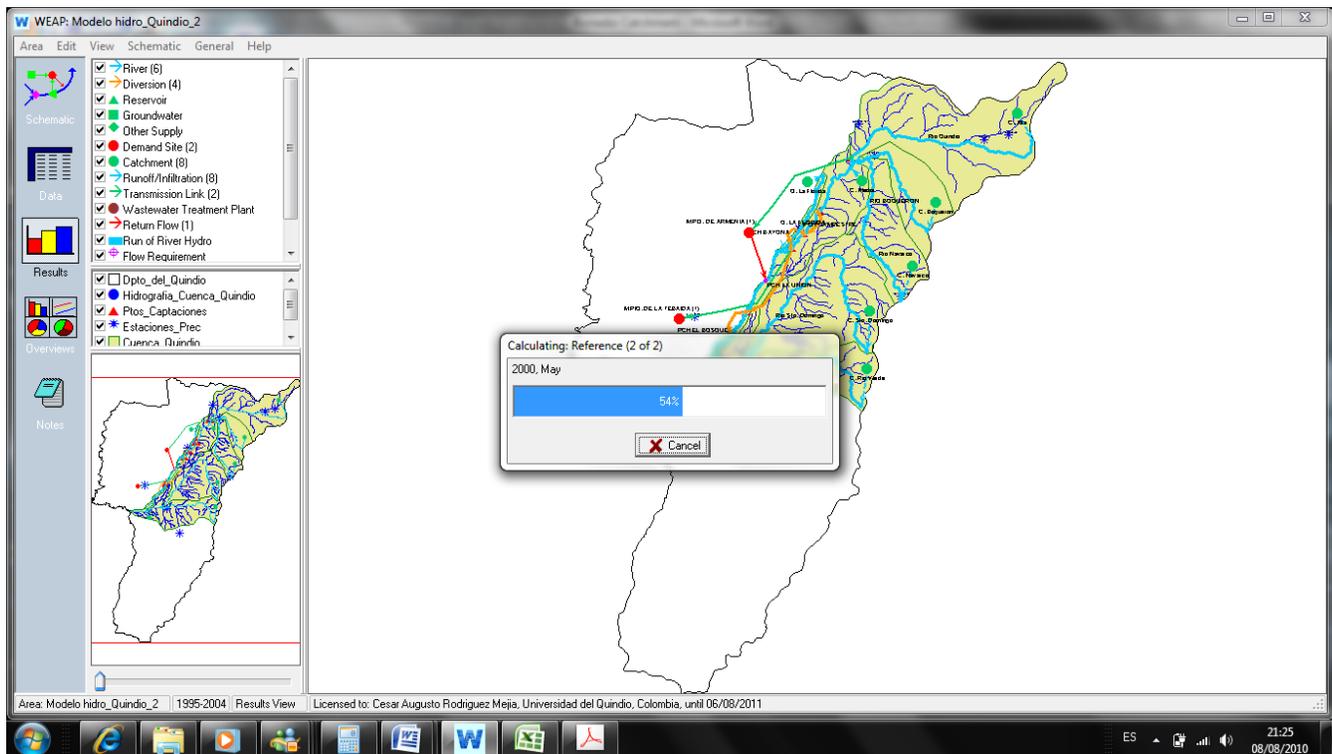


Figura N° 40 Ejecución del modelo

7.5.3.5 Resultados



Para la finalidad del proyecto titulado “Estimación de Caudales Ecológicos en la UMC Río Quindío mediante métodos hidrológicos e hidráulicos” es de interés los resultados relacionados con la cantidad de agua superficial; una vez ejecutado el modelo se obtienen los siguientes resultados para el periodo comprendido entre enero de 1995 a diciembre de 2004.

Caudales circulantes en la UMC Río Quindío (Streamflows)

En la Figura N° 41 se presentan los diferentes caudales circulantes (Streamflows) para cada uno de los ríos principales de la UMC Río Quindío, como lo son el río Quindío, río Boquerón, río Navarco, río Sto. Domingo, río verde, quebrada La Florida y quebrada El Pescador, para la serie

simulada entre el periodo de 1995 a 2004. Estos caudales incluyen las aportaciones en cabecera (Headflow), aportaciones intermedias (Inflow), derivaciones o tomas (Withdrawal), Desviaciones (Diversion) y los flujo de retorno (ReturnFlow). Más adelante se mostrarán estos resultados detalladamente de acuerdo al tramo que se vaya a analizar.

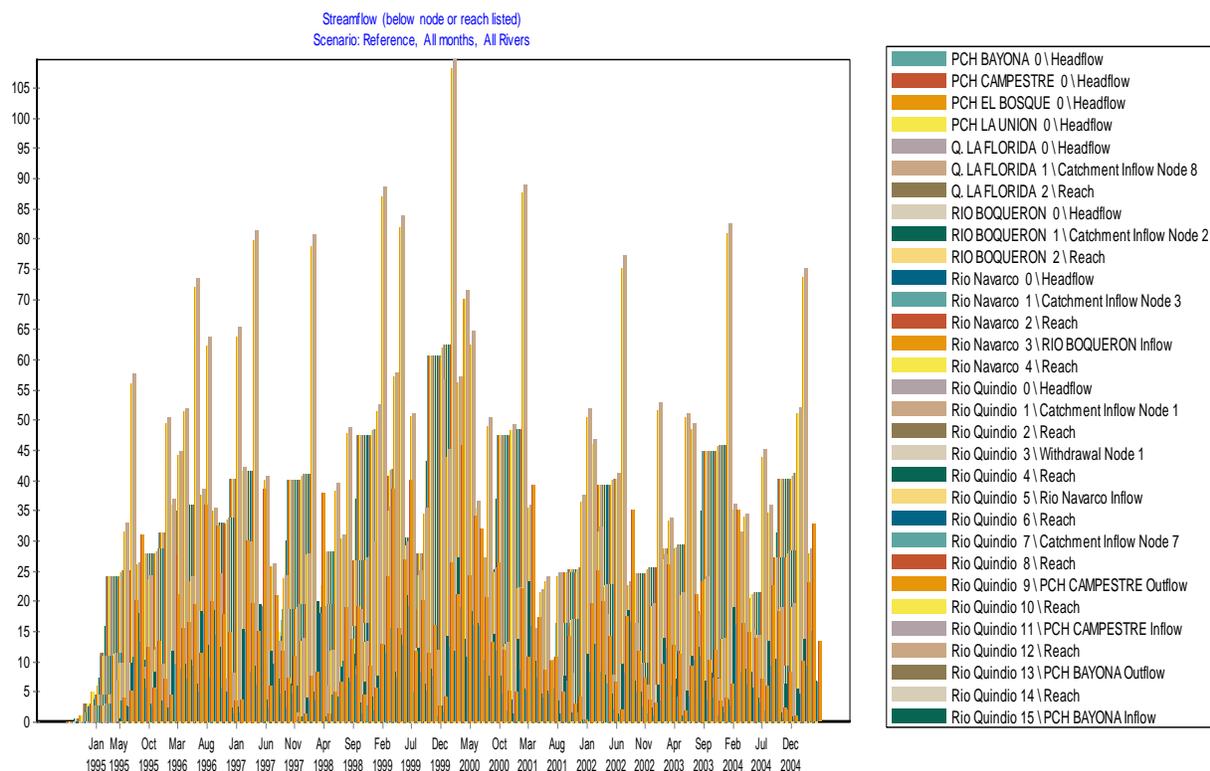


Figura N° 41 Caudales circulantes en la UMC Río Quindío

Escurrentía por precipitación (Runoff from Precipitation)



La Figura N° 42 muestra la escurrentía por precipitación que se da en cada catchment, esta escurrentía representa la cantidad de agua que escurre por los diferentes ríos y la que se infiltra en el sistema acuífero Glacis del Quindío.

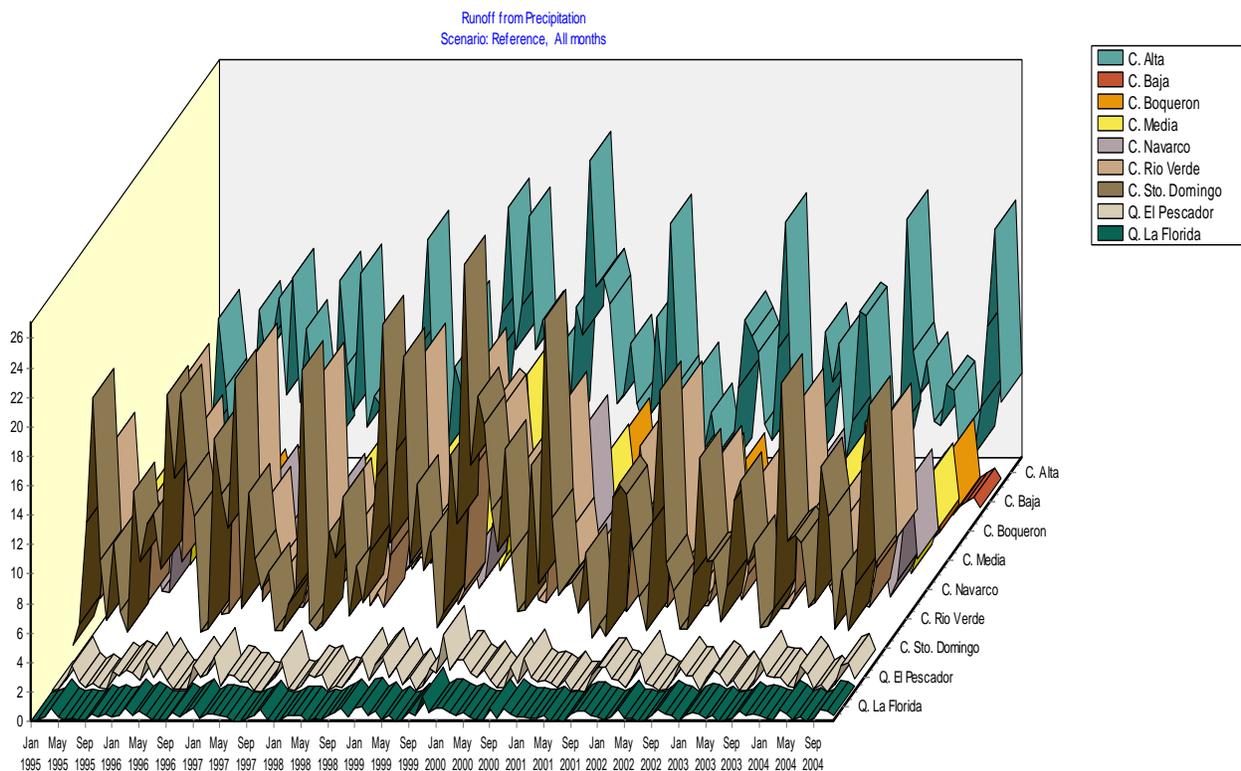
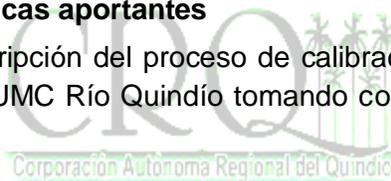


Figura N° 42 Escorrentía por precipitación

7.5.3.6 Calibración del modelo

7.5.3.6.1 Calibración de Subcuencas aportantes

A continuación se hace una descripción del proceso de calibración del modelo para las cuencas que aportan recurso hídrico a la UMC Río Quindío tomando como guía la subcuenca alta del río Quindío.



Primero se muestra en la Figura N° 43 los caudales medidos en la estación limnigráfica ubicada a la altura de la bocatoma EPA comparados con los datos simulados por el modelo hidrológico del SSD WEAP para el mismo sitio de aforo.

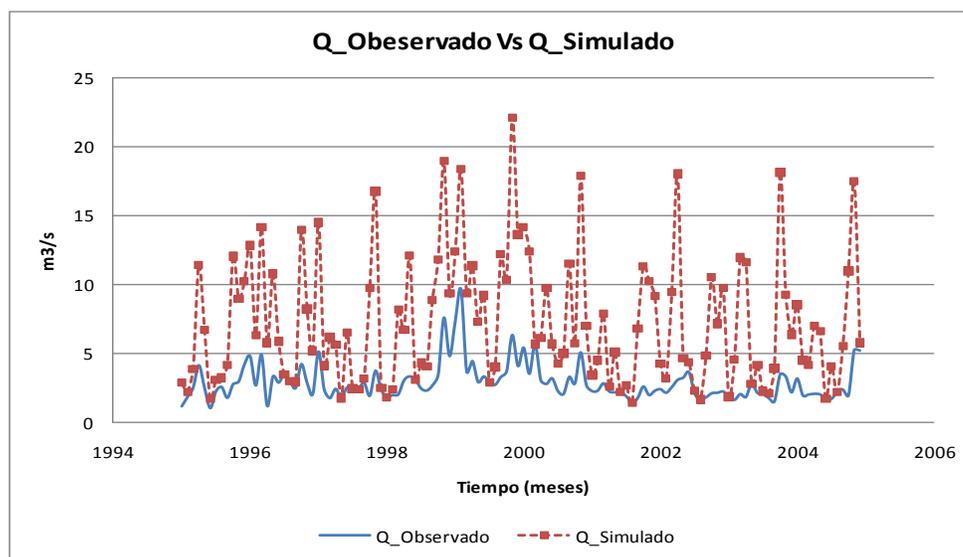


Figura N° 43 Curva de caudales medidos y simulados en estación limnigráfica bocatoma EPA

Como se puede observar en la Figura N° 43 el caudal simulado está por encima del caudal observado en la estación limnigráfica de EPA, por lo que se hace necesaria la calibración.

Esta diferencia se da debido a que en la introducción de los datos no se especifica la cantidad de agua que se infiltra al acuífero, se simula que el 100% del agua disponible en el catchment es de escorrentía en el río, esto porque no se conoce como es el comportamiento de sistema acuífero Glacis del Quindío y la relación que éste tiene con el río Quindío.

El proceso de calibración consiste en determinar la infiltración y el coeficiente de cultivo K_c de tal manera que permita una buena aproximación entre las curvas simulada y medida en la estación limnigráfica.

Realizando este proceso se logra obtener valores para precipitación, evapotranspiración, coeficiente de cultivo (K_c), porcentaje de escorrentía superficial y porcentaje de infiltración que se ajusten a los datos de caudales medidos en la estación limnigráfica ubicada a la altura de la bocatoma EPA.

Una vez calibrados estos datos se procede a cargar nuevamente el modelo en el SSD WEAP con datos de precipitación y evapotranspiración, esto debido a que algunos de los datos (muy pocos) variaron con respecto a los datos iniciales con los que se carga el modelo.

Igualmente se cargan datos relacionados con el coeficiente de cultivo (K_c), escorrentía superficial (Runoff) e infiltración (infiltration) estos dos últimos datos su valor es en porcentaje.

A continuación se muestran las gráficas de estos últimos tres parámetros en las cuales se puede observar la variación que se obtuvo en el proceso de calibración.

Coeficiente de cultivo (K_c)

En la Figura N° 44 se muestra la variación del coeficiente de cultivo para el periodo simulado en el SSD WEAP.

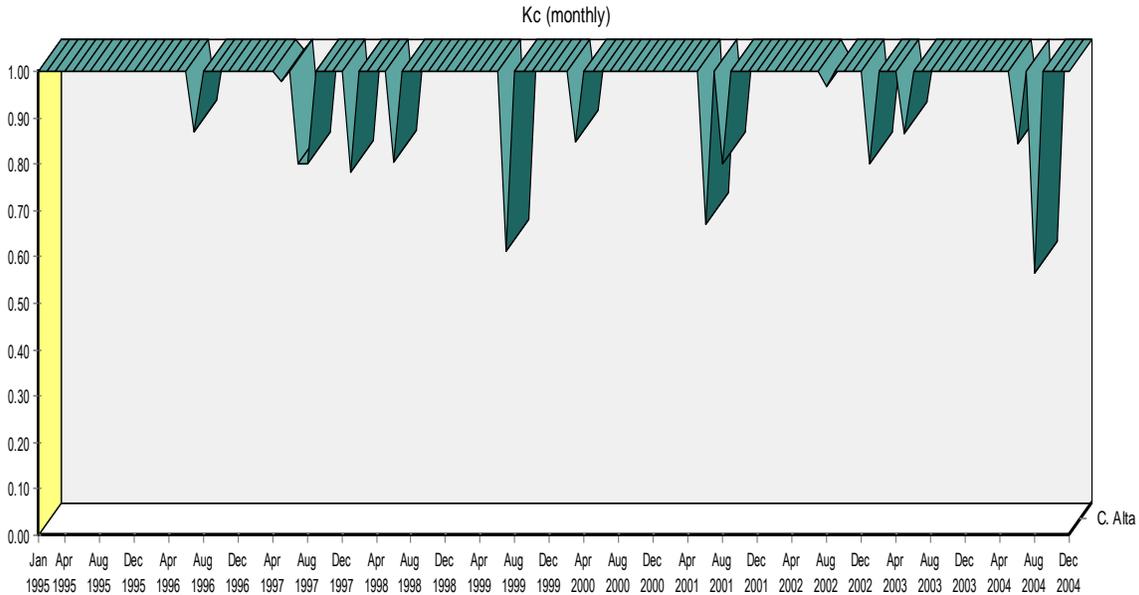


Figura N° 44 Variación K_c una vez calibrado el modelo hidrológico en SSD WEAP

Como se observa en la Figura N° 44 el coeficiente de cultivo en la mayoría de los casos se ajusta entre el valor mínimo y el valor inicial ($0.5 \leq K_c \leq 1.0$)

Escorrentía e infiltración (Runoff/infiltration)



En la Figura N° 45 se puede observar la variación en porcentaje del agua que se destina a escorrentía superficial e infiltración, la suma de estas debe ser igual al 100%, estos valores se ingresan en el elemento "Runoff/Infiltration" del SSD WEAP.

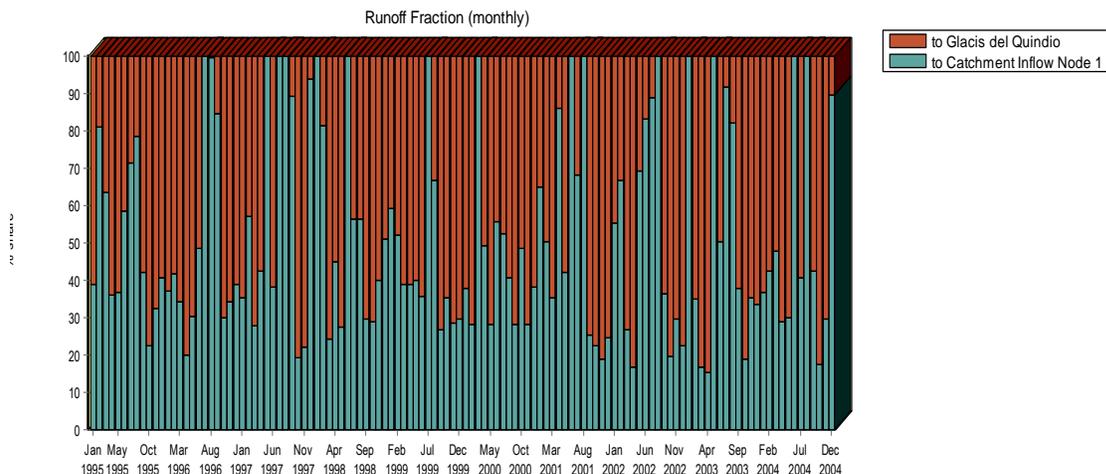
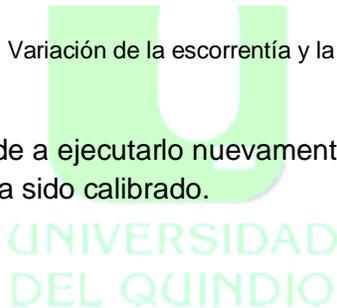


Figura N° 45 Variación de la escorrentía y la infiltración

Una vez cargado el modelo se procede a ejecutarlo nuevamente para observar los cambios en los resultados y verificar que el modelo ha sido calibrado.



Resultados del modelo calibrado

Escorrentía por precipitación (Runoff from Precipitation)

En la Figura N° 46 se observa la escorrentía por precipitación para el catchment de la cuenca alta del río Quindío, el cual varía muy poco con respecto a la gráfica inicial.

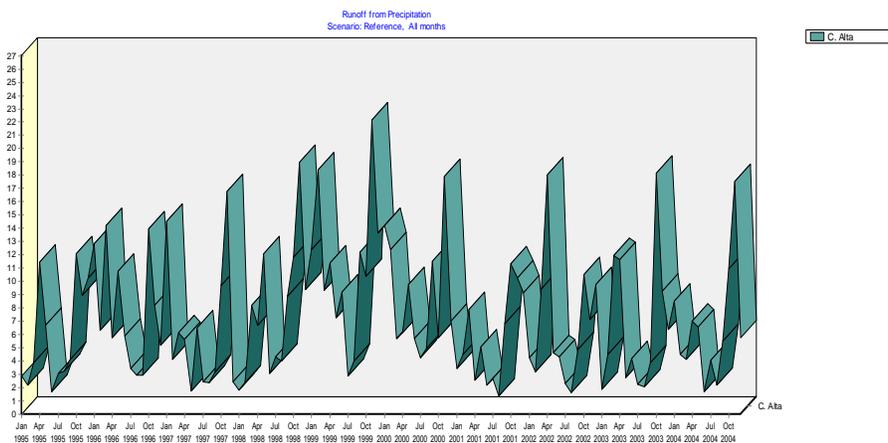


Figura N° 46 Escorrentía por precipitación parte alta de la UMC Río Quindío

Caudales circulantes en la cuenca alta del río Quindío (Streamflows) a la altura de la estación limnigráfica Bocatoma EPA.

En la Figura N° 47 se puede observar el caudal que circula en el tramo del río que se encuentra delimitado por la cuenca alta del Quindío.

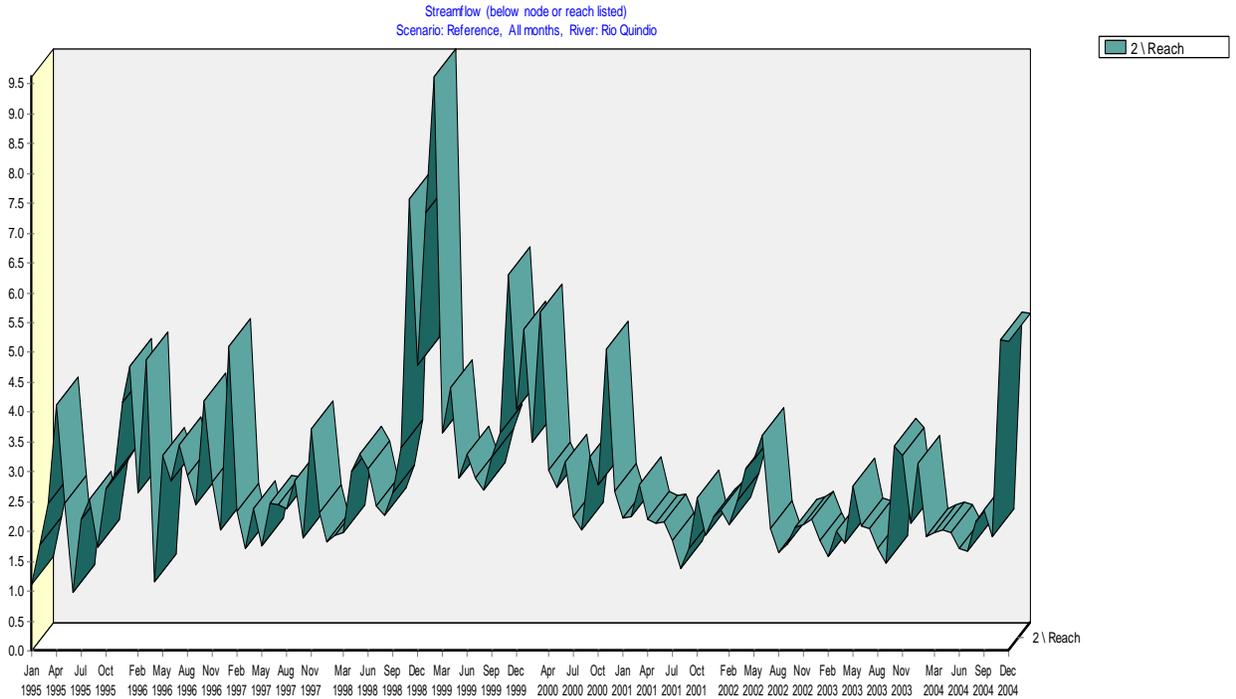


Figura N° 47 Caudal circulante en la parte alta de la UMC Río Quindío

La Figura N° 48 es una gráfica comparativa entre los caudales medidos en la estación de aforo en la bocatoma EPA y los caudales simulados por el SSD WEAP en la misma estación una vez calibrado el modelo.



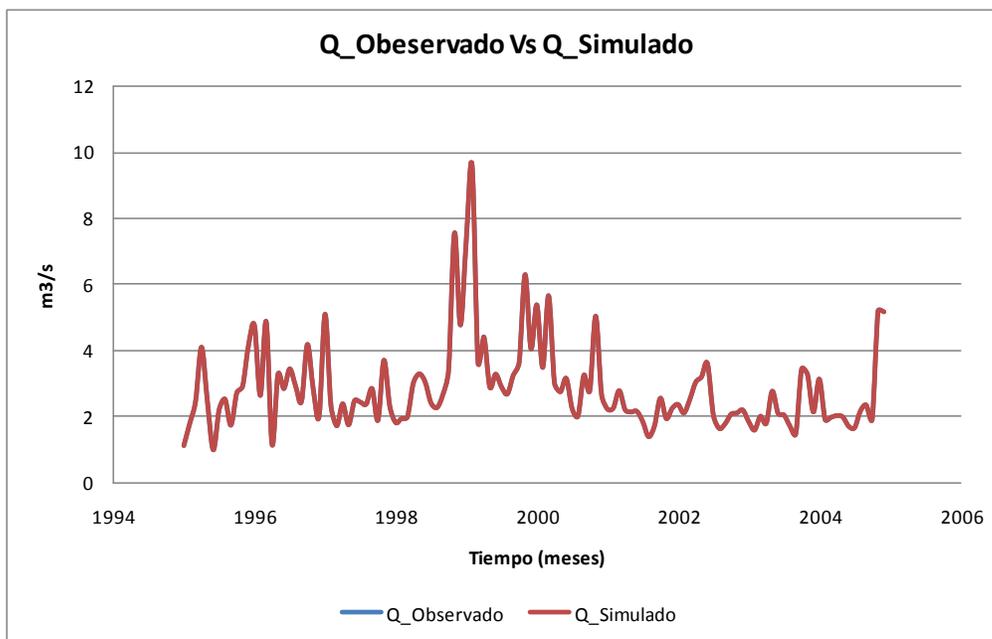


Figura N° 48 Curva Caudal Observado y Curva Caudal simulado en la estación limnigráfica Bocatoma EPA después de calibrado el modelo hidrológico

Como se puede observar en la Figura N° 48 mediante el proceso de calibración se obtuvo casi una perfecta correlación entre los datos observados y simulados, esto se ve reflejado en los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe y el Sesgo (o BIAS o desviación relativa de caudales), estos son índices que se utilizan normalmente en la calibración de modelos hidrológicos.

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \overline{Q_o})^2}$$

$$Bias = 100 * \left[\frac{(\overline{Q_s} - \overline{Q_o})}{\overline{Q_o}} \right]$$

Dónde: Q_{si} y Q_{oi} son los caudales simulados y observados para cada paso de tiempo. i y n corresponden al número total de pasos de tiempo, en nuestro caso 120 meses.

A continuación se presentan los resultados de los índices de eficiencia de Nash-Sutcliffe y el Sesgo (o BIAS o desviación relativa de caudales) para cada una de las subcuencas que cuentan con estación limnigráfica.

Estación Limnigráfica	Fuente	Indice Nash	Indice BIAS (%)
Bocatoma EPA	Río Quindío	0.999	0.0002
Calle Larga	Río Quindío	0.999	0.0611
Centro de la Guadua	Río Verde	0.999	-0.0006
Palestina Baja	Río Navarco	0.998	-0.1675

Tabla N° 35. Índices de eficiencia de Nash y BIAS

La interpretación de estos índices es la siguiente; para Nash, entre más cercano a uno (1) mejor es la correspondencia entre datos observados y simulados, para el BIAS entre menor sea el porcentaje (%) mejor será la correspondencia de los datos, para el BIAS un resultado positivo (+) significa que hay una sobreestimación del caudal y en caso de un resultado negativo (-) se dice que se subestima el caudal.

Este mismo procedimiento se realiza para las subcuencas que aportan recurso hídrico al río Quindío como lo son las subcuencas del río Boquerón, río Navarco, río Santo Domingo y río Verde. De éstas cuentan con instrumentación para medir caudales las subcuencas del río Navarco y río Verde.

Para la calibración de las sub-cuencas de los ríos Boquerón y Santo Domingo, se afectaron los caudales registrados en las estaciones de aforo de las cuencas adyacentes, río Navarco y río Verde respectivamente, por un factor multiplicador que se determina mediante la relación de áreas existente entre las cuencas, a continuación se muestra el cálculo de estos factores.

$$FactorSto. Domingo = \frac{AreaSto. Domingo}{AreaRioVerde} = \frac{161.06}{133.87} = 1.203$$

$$FactorBoqueron = \frac{AreaBoqueron}{AreaNavarco} = \frac{58.39}{73.10} = 0.799$$

7.5.3.6.2 Calibración de cuencas intermedias

En el proceso de calibración de la cuenca media del río Quindío se contó con información de caudales medidos en la estación limnigráfica de Calle Larga y caudales aforados en diferentes puntos de la cuenca media. Inicialmente se tomó como estación de control la estación limnigráfica de Calle Larga. En la Figura N° 49 se muestran las curvas comparativas de caudales medidos y simulados en el SSD WEAP para la estación limnigráfica.

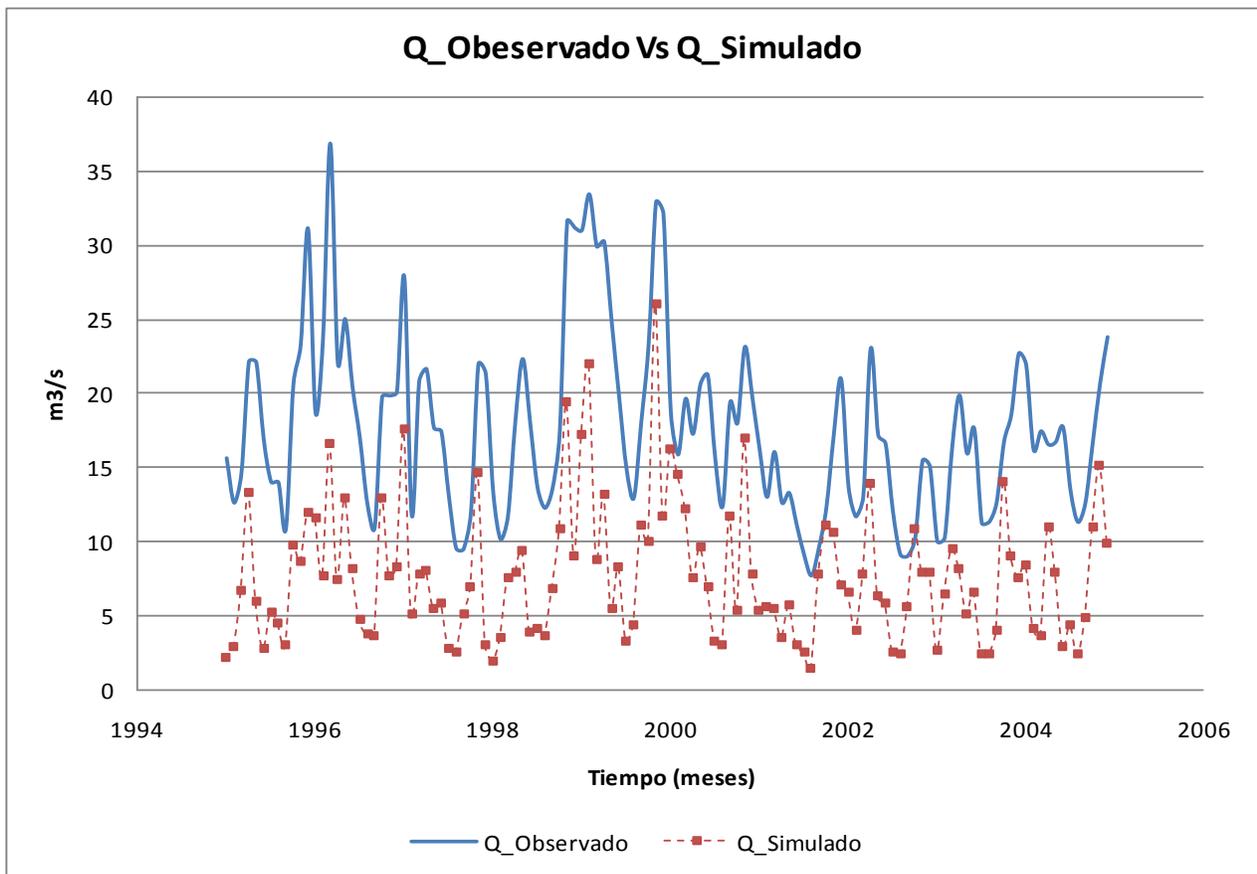


Figura N° 49 Curva de caudales medidos y simulados en Estación Limnigráfica Calle Larga

En la Figura N° 49 se puede observar que el caudal simulado se encuentra por debajo del caudal medido, esto conlleva a tener unos caudales ecológicos sobreestimados que no representan la realidad del comportamiento de la cuenca.



Del análisis de la Figura N° 50, se puede apreciar la diferencia que existe entre los caudales medidos en la Estación Limnigráfica de Calle Larga y los aforos obtenidos para este punto, y la revisión de la literatura, se llega a concluir que, tal como se dice en (CVC, 2005), las estaciones disponibles de registro de caudal presentan limitaciones en cuanto a calidad y longitud del periodo hidrológico, por esta razón se decide no tener en cuenta la información registrada en la Estación Limnigráfica de Calle Larga para la calibración del modelo.

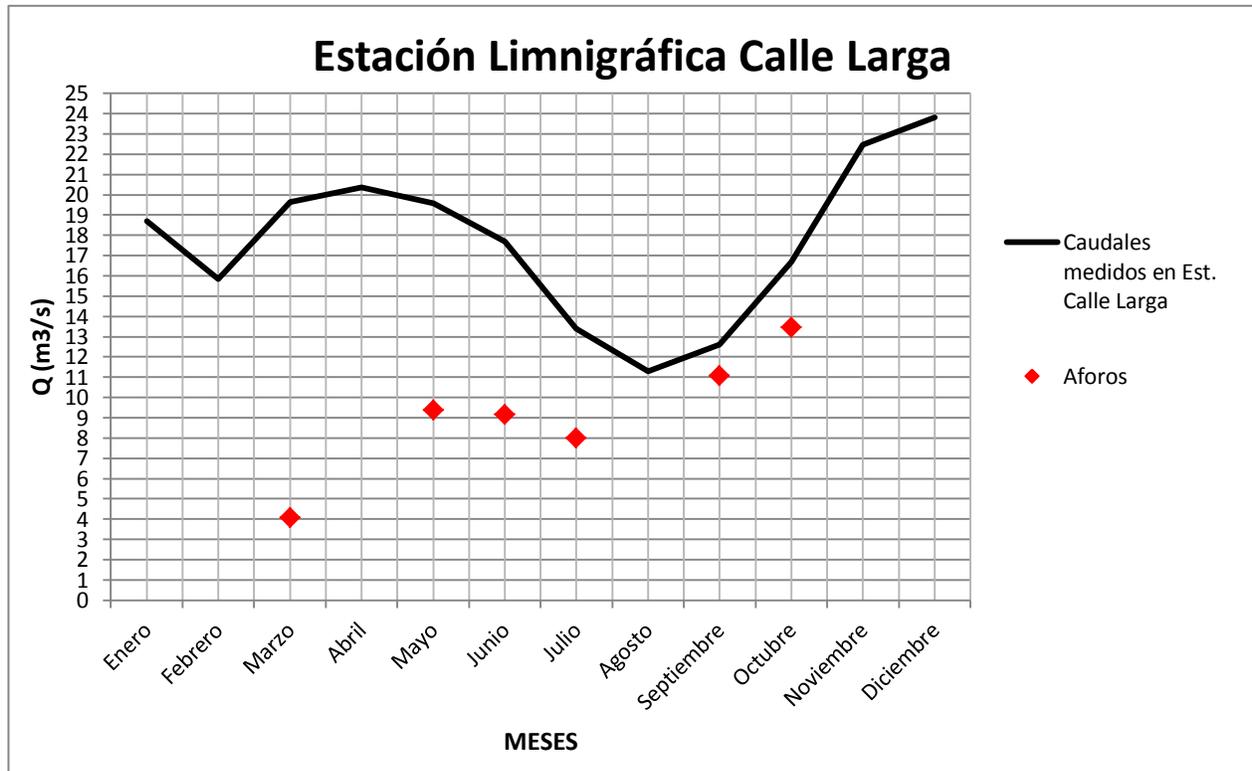


Figura N° 50 Curva de caudales medidos multianuales Vs Caudales aforados en Estación Limnigráfica Calle Larga

Por lo tanto para la calibración de la cuenca media del río Quindío se utilizará la información de aforos de caudal disponible.

Con el fin de ajustar la curva simulada por el SSD WEAP a los aforos de caudal disponible se plantean algunas hipótesis, las cuales se tratan de explicar a continuación; se resalta que estas deberán ser confirmadas por la autoridad ambiental mediante estudios más detallados. Se asume que en la parte media de la cuenca del río Quindío el proceso de infiltración es mínimo y que existe una interconexión hidráulica con el sistema acuífero Glacis del Quindío y el río Quindío la cual permite el paso del flujo de agua del acuífero al río y viceversa.

Análisis y validación de caudales del SSD WEAP

Debido a que la información obtenida mediante el SSD WEAP no se puede ajustar a las condiciones mostradas por la Estación Limnigráfica de Calle Larga por los problemas anteriormente mencionados; lo que se pretende ahora es comparar los resultados de caudales obtenidos del SSD WEAP con los caudales resultantes de los aforos hechos en distintos puntos del río Quindío y así determinar qué tan ajustados están estos valores a las condiciones reales de la cuenca para llegar a concluir si son aptos para la estimación de los caudales ecológicos o por el contrario se debe considerar otro tipo de análisis de caudales en régimen natural.

Esta comparación es posible realizarla utilizando herramientas estadísticas tales como el diagrama de cajas y bigotes. Los diagramas de Caja-Bigotes (boxplots o box and whiskers) son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría. Para su realización se representan los tres cuartiles y los valores mínimo y máximo de los datos, sobre un rectángulo, alineado horizontal o verticalmente.

Una gráfica de este tipo consiste en una caja rectangular, donde los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico. Este rectángulo está dividido por un segmento vertical que indica donde se posiciona la mediana y por lo tanto su relación con los cuartiles primero y tercero (recordemos que el segundo cuartil coincide con la mediana).

Esta caja se ubica a escala sobre un segmento que tiene como extremos los valores mínimo y máximo de la variable. Las líneas que sobresalen de la caja se llaman bigotes. Estos bigotes tienen un límite de prolongación, de modo que cualquier dato o caso que no se encuentre dentro de este rango es marcado e identificado individualmente (URL1).

Este análisis solo se desarrolló para tres (3) puntos de aforo (Antes de descarga PCH Campestre, Antes de Bocatoma La Tebaida y estación Limnigráfica Calle Larga) debido a que en dichos puntos se tiene una buena cantidad de aforos en diferentes días de un mismo mes, posibilitando el análisis estadístico y la interpretación de los resultados obtenidos a partir del SSD WEAP. Para la estación de bombeo de EPA ubicada en la vereda Chagualá del municipio de Calarcá, la cual posee una importancia relevante dentro del proyecto, no se puede realizar este análisis ya que no posee los suficientes aforos que posibiliten el desarrollo óptimo del análisis estadístico, por lo que la comparación con los caudales se debe hacer de forma puntual con los pocos aforos que se tienen.

- **Estación de bombeo de EPA –Chagualá**

Como se dijo anteriormente, para este punto no se puede hacer el análisis estadístico de cajas y bigotes porque no se tienen los suficientes aforos. A partir de la información que se tiene de aforos y los caudales obtenidos del SSD WEAP se obtienen los siguientes resultados a partir de la Figura N° 51.

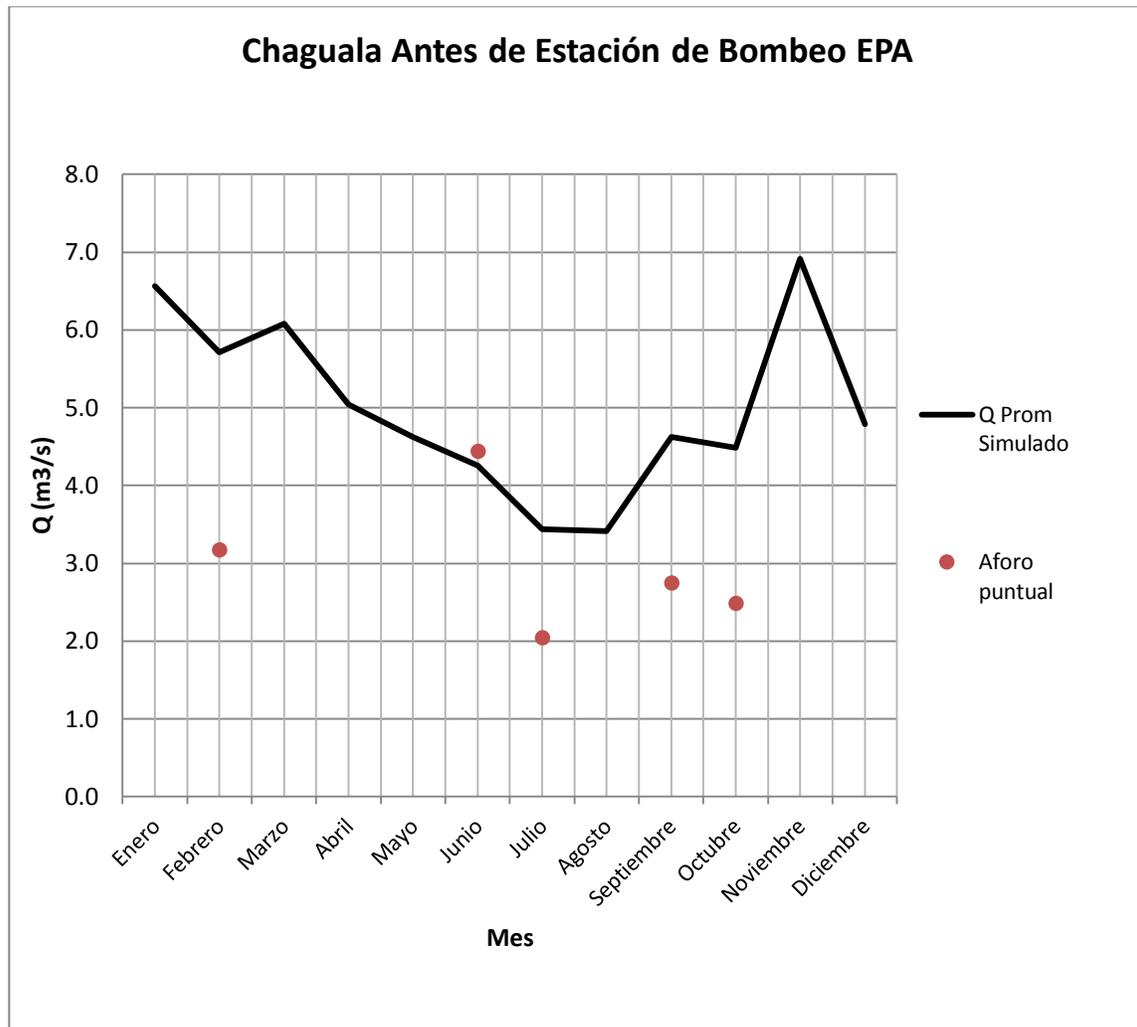


Figura N° 51 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Estación de bombeo EPA

En la Figura N° 51 se evidencia la similitud que existe entre el caudal simulado en SSD WEAP y los valores obtenidos en los aforos que se realizaron en dicho punto, con un rango de diferencia de aproximadamente entre 1 y 1.5 m³/s, lo que permite concluir que los valores obtenidos de caudales para este punto mediante el SSD WEAP son aptos para el desarrollo del objetivo del presente proyecto.

• **Antes de descarga PCH Campestre**

Para este punto ya se tiene desarrollado el análisis estadístico por medio de cajas y bigotes como se muestra en la Figura N° 52 En este punto existe un valor de confianza aceptable si se tiene en cuenta que los caudales simulados en SSD WEAP están dentro de los límites establecidos por los bigotes para los meses de septiembre y octubre que son los meses en los cuales se pudieron realizar las cajas y bigotes.

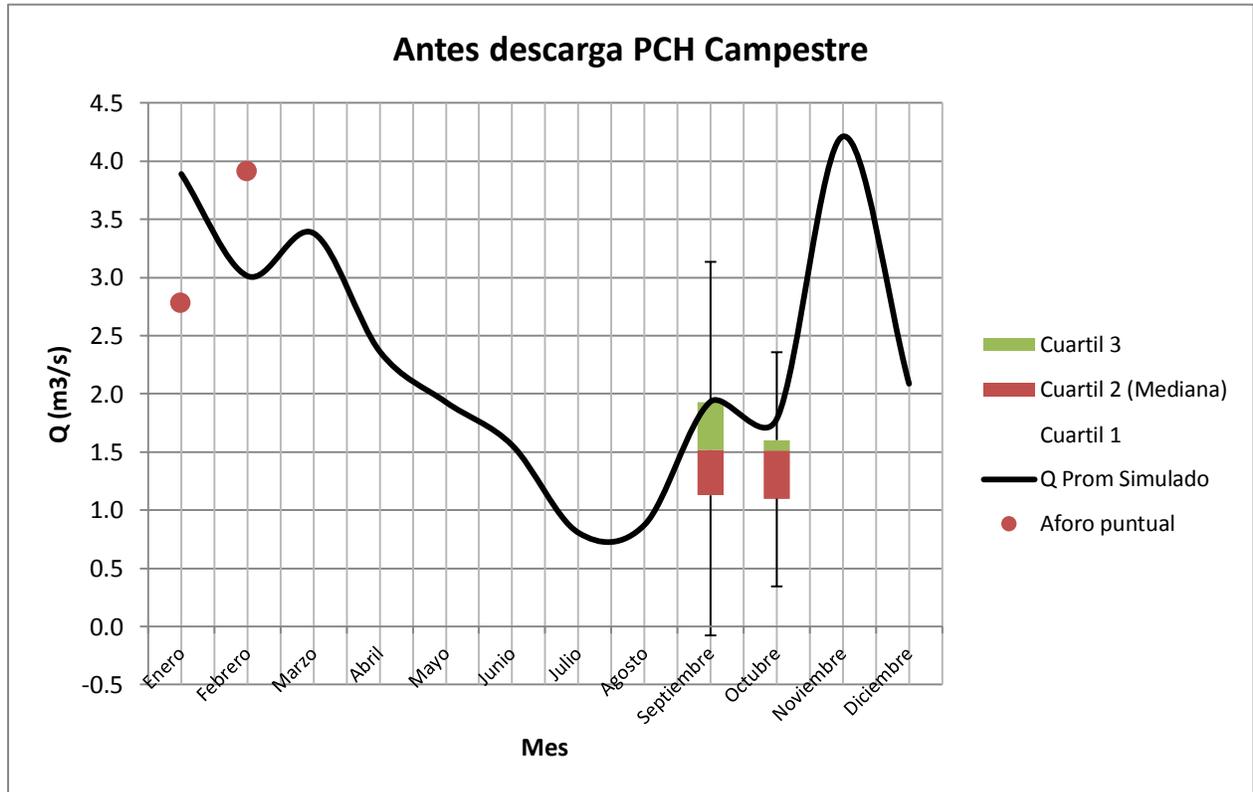


Figura N° 52 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Antes descarga PCH Campestre



Para los meses de enero y febrero se tienen valores puntuales de aforos que evidencian un comportamiento similar entre el caudal real circulante en el río para este punto y el caudal simulado en SSD WEAP, reduciendo en gran medida la incertidumbre que se genera al utilizar este tipo de modelos con valores simulados de las condiciones de la cuenca.

- **Antes de Bocatoma La Tebaida**

Para este punto de aforo se tiene una diferencia más pronunciada entre los límites de las cajas y el valor del caudal simulado en SSD WEAP como se muestra en la Figura N° 53. Se observa para el mes de octubre la poca amplitud de los límites a diferencia de los mostrados para el mes de septiembre, esto se da debido a que los valores de los aforos realizados en el mes de octubre poseen valores de caudal muy similares (0.22 – 0.44 m³/s), a diferencia de los registrados en el mes de septiembre (0.29 – 1.04 m³/s), generando en el análisis estadístico la poca amplitud en unos y la gran amplitud en otros. También hay que tener en cuenta que los caudales obtenidos para los meses de septiembre y octubre corresponden a aforos realizados finalizando el año 2009, periodo caracterizado por la presencia de un fuerte fenómeno del Niño en el país, dando respuesta esto a los valores bajos de caudal en este tramo del río.

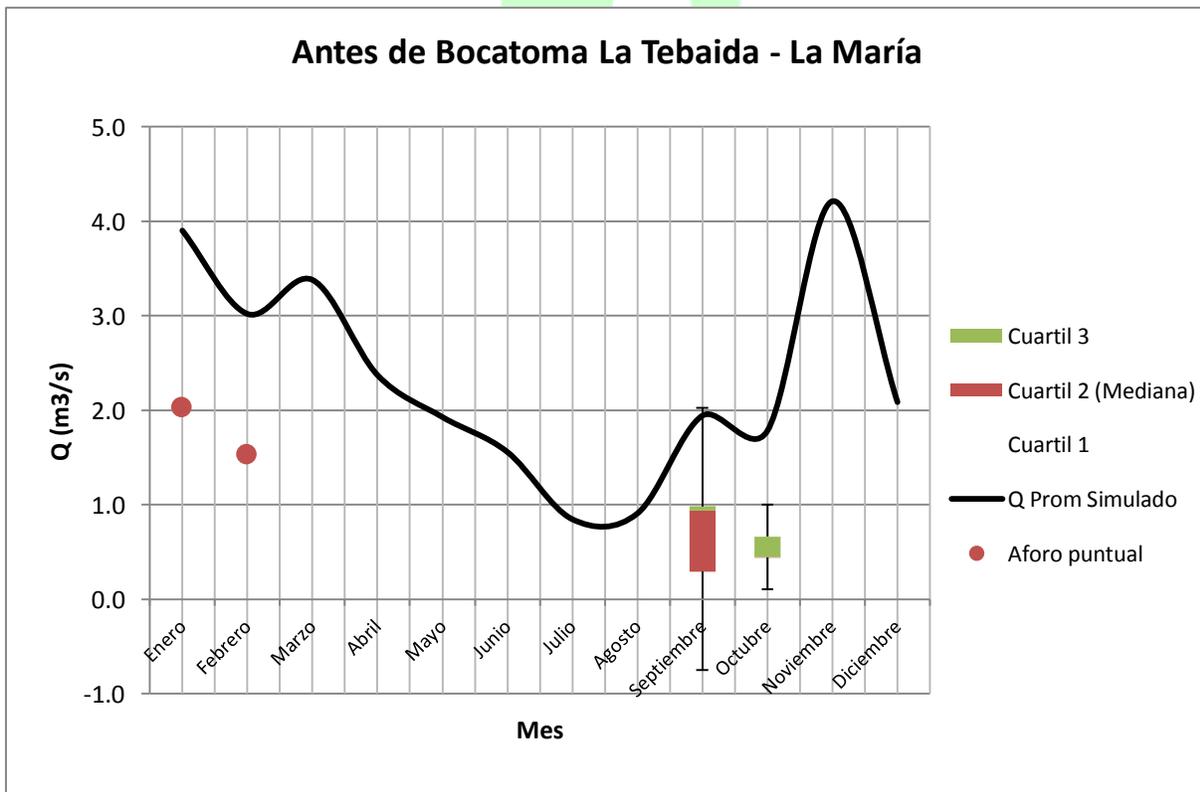


Figura N° 53 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Antes de bocatoma La Tebaida

En términos generales la curva obtenida de los caudales simulados representa caudales un poco más altos que los registrados en los aforos siguiendo un comportamiento similar a estos con una diferencia en el caudal de 1.5 a 2 m³/s. Si bien los caudales no se ajustan a los requerimientos, teniendo en cuenta la incertidumbre que se tiene con la información hidrometeorológica y

limnigráfica de las diferentes estaciones del departamento, el estrés hídrico característico de este tramo del río, y la variabilidad de parámetros y condiciones de la cuenca, se puede concluir que dichos valores son aptos para obtener los caudales ecológicos.

- **Estación Limnigráfica Calle Larga**

En la Figura N° 54 se observa la curva de caudal promedio mensual multianual para el modelo calibrado la cual se ajusta a los caudales aforados en la Estación Limnigráfica Calle Larga, teniendo un comportamiento más acorde a la realidad de la cuenca en estudio. Se puede observar que para los meses de estiaje como lo son Julio y Agosto se tienen caudales en condiciones reguladas de la cuenca que oscilan entre $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ y $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual se asemeja a las condiciones propias de la cuenca. Para el mes de septiembre se debe tener en cuenta que dichos aforos fueron realizados en el año de 2010, el cual para estas épocas de año se presentaba un fuerte Fenómeno de la Niña, lo que hace replantear el modelo de caudal simulado, teniendo en cuenta dicha consideración, la cual no caracteriza el comportamiento real y estacional del río para este punto de la cuenca. Por este motivo se replanteó la curva del caudal simulado teniendo en cuenta la consideración anterior y ajustándolo a los caudales en condiciones climáticas normales.

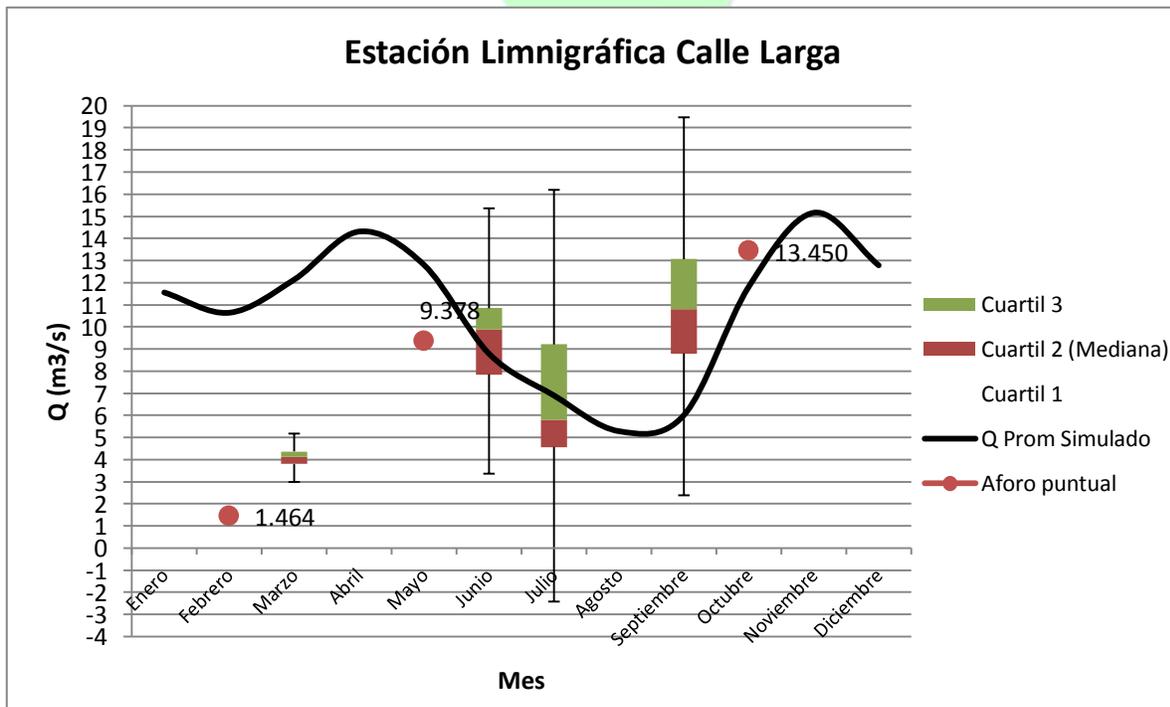


Figura N° 54 Comparación de Caudales obtenidos de aforos y mediante SSD WEAP – Calle Larga

La amplitud de los límites para las cajas analizadas se debe a la variabilidad temporal que se tiene en este punto del río y las diferentes condiciones y características que se tienen en cuenca baja, generándose allí una incertidumbre mucho mayor de los datos que se obtienen en dicho punto.

Los aforos pertenecientes al mes de marzo representan la temporada del Fenómeno del Niño del primer semestre del 2010, razón por la cual los caudales de dicho mes poseen valores muy bajos respecto al comportamiento normal del caudal del río para este tramo.

Se puede concluir entonces que los caudales obtenidos mediante la simulación hecha en SSD WEAP son aptos para continuar con el proyecto y pasar ahora a obtener los caudales en régimen natural.

Escorrentía por precipitación (Runoff from Precipitation)

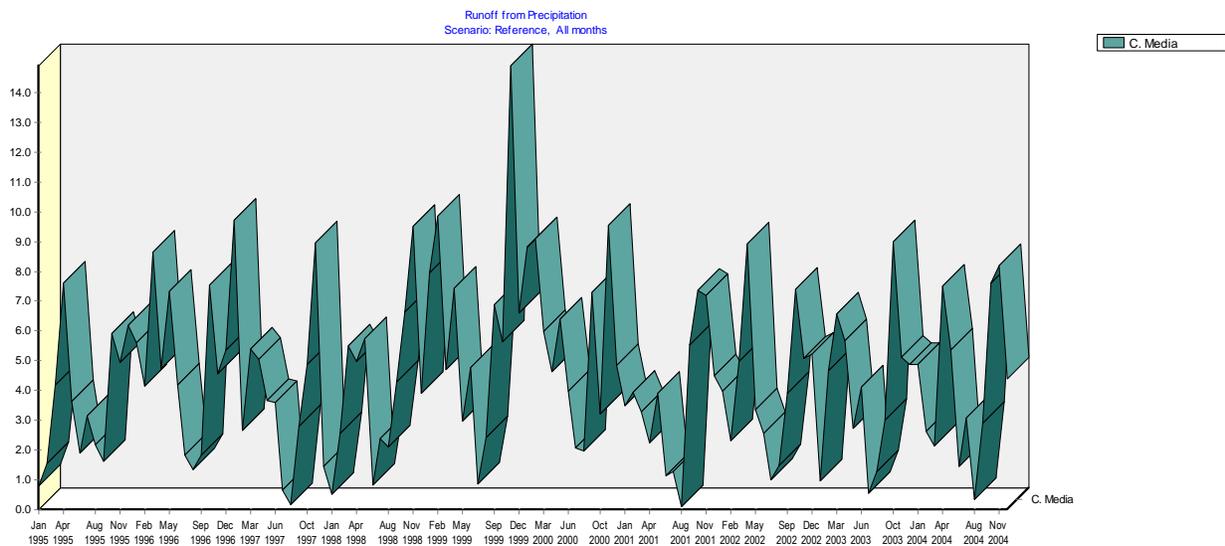


Figura N° 55 Escorrentía por precipitación parte media de la UMC Río Quindío

En la Figura N° 55 se observa la escorrentía por precipitación para el catchment que representa la cuenca media del río Quindío, es de anotar que esta gráfica no tiene en cuenta las aportaciones de las demás fuentes como el tramo de río Quindío en la parte alta, los caudales aportados por el río Navarco y las quebradas La Florida y El Pescador. Como su nombre lo dice es solo escorrentía por precipitación.

A continuación se muestran las gráficas comparativas de los caudales medidos y simulados, antes y después de la calibración del modelo hidrológico en SSD WEAP, en cada una de las estaciones Limnigráficas de las subcuencas que conforman la UMC Río Quindío. Teniendo en cuenta que la estación limnigráfica de Calle Larga no se utilizó en la calibración por la gran incertidumbre que presentan los datos registrados.

Estación limnigráfica bocatoma EPA (Río Quindío)

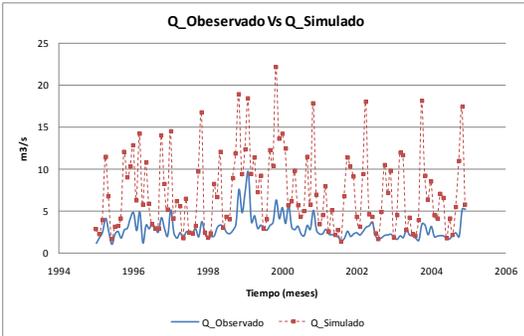


Figura N° 56 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a)

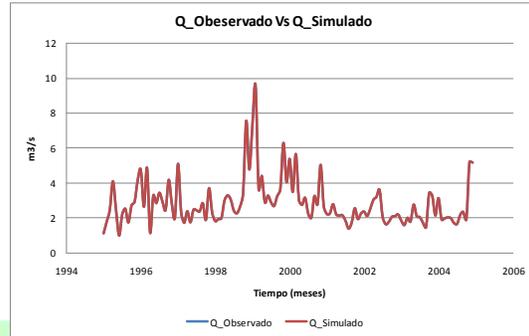


Figura N° 56. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)

Estación limnigráfica Palestina baja (Río Navarco)

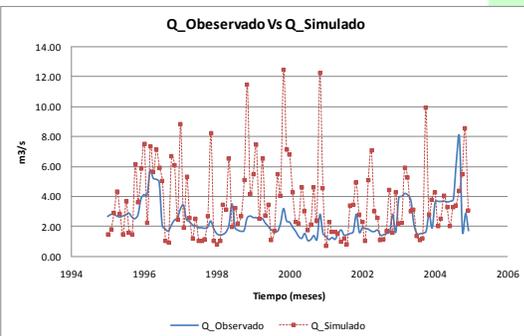


Figura N° 57 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a)

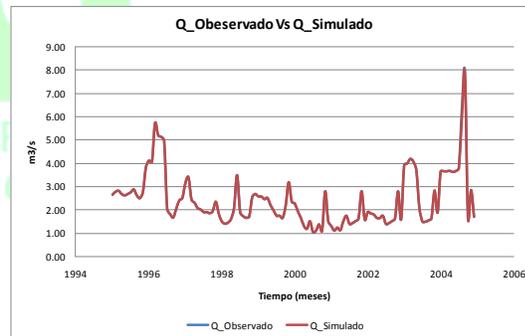


Figura N° 57. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)

Estación limnigráfica Centro de la Guadua (Río Verde)

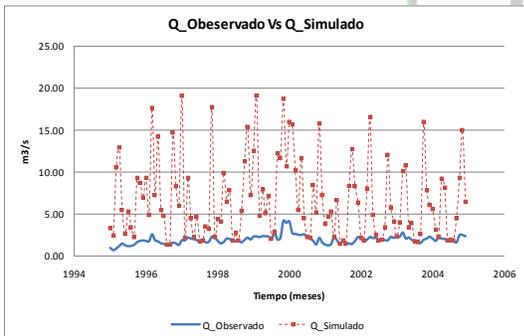


Figura N° 58 Caudal Observado Vs Caudal simulado antes de la Calibración (a)

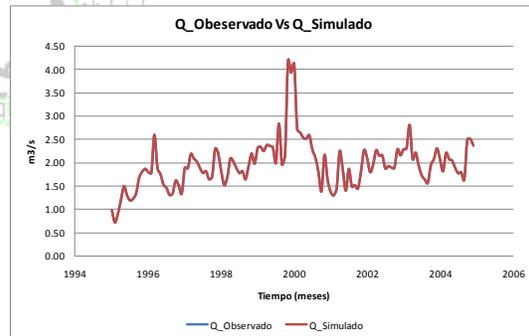


Figura N° 58. Caudal Observado Vs Caudal simulado después de la Calibración (b)

7.5.4 RESTITUCION A REGIMEN NATURAL DE CAUDALES MEDIANTE EL SSD WEAP

Una vez calibrado el modelo hidrológico en el SDD WEAP se procede a restituir el caudal del río a régimen natural, quiere decir esto, el caudal que tendría el río en caso de que no existiera ningún tipo de aprovechamiento hídrico en la UMC Río Quindío.

El SSD WEAP permite que esta restitución se haga de forma sencilla, para este proyecto se creó un escenario dentro del modelo hidrológico calibrado y se cambiaron los datos relacionados con la demanda de agua para cada una de las unidades de demanda tanto urbanas como hidroeléctrica, se plantea el supuesto de que no existe explotación del recurso hídrico por lo tanto la demanda de agua en el río será igual a cero (0). Al ejecutar el modelo con este cambio el SSD WEAP se encarga de realizar el balance hídrico para cada tramo del río y nos da como resultado la restitución de caudal a régimen natural.

Para tener un mejor detalle de los caudales circulantes del río Quindío se decide dividirlo en tramos limitados por puntos físicos tales como las captaciones y retornos de las diferentes unidades de demanda al igual que las diferentes confluencias con otros ríos tal como se indica en la Tabla N° 36.

IDENTIFICACION TRAMOS RIO QUINDIO		
Tramo	Desde	Hasta
Tramo 1	Cabecera Río Quindío	Bocatoma EPA
Tramo 2	Bocatoma EPA	Confluencia Río Navarco
Tramo 3	Confluencia Río Navarco	Toma Canal PCH Campestre
Tramo 4	Toma Canal PCH Campestre	Toma Canal PCH Bayona
Tramo 5	Toma Canal PCH Bayona	Bocatoma acueducto M/pio. La Tebaida
Tramo 6	Bocatoma acueducto M/pio. La Tebaida	Toma Canal PCH La Union
Tramo 7	Toma Canal PCH La Union	Confluencia Q. Florida
Tramo 8	Confluencia Q. Florida	Flujo de Retorno M/pio Armenia Qda. San Nicolas
Tramo 9	Flujo de Retorno M/pio Armenia Qda. San Nicolas	Retorno canal PCH La Union
Tramo 10	Retorno canal PCH La Union	Toma Canal PCH El Bosque
Tramo 11	Toma Canal PCH El Bosque	Confluencia Qda. El Pescador
Tramo 12	Confluencia Qda. El Pescador	Retorno canal PCH El Bosque
Tramo 13	Retorno canal PCH El Bosque	Confluencia con Río Verde
Tramo 14	Confluencia con Río Verde	Confluencia Río Barragan (Nace Río La Vieja)

Tabla N° 36. Tramos divisorios del río Quindío

A continuación se presenta en la Figura N° 59 y Figura N° 60 una comparación entre los caudales circulantes del modelo calibrado y la restitución de caudales a régimen natural para algunos de los tramos en mención.

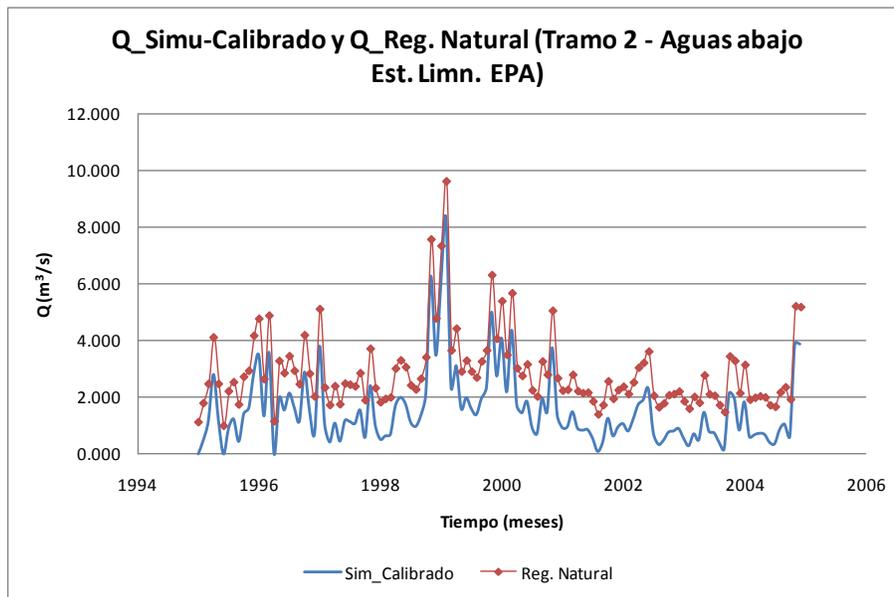


Figura N° 59 Caudal Simulado calibrado y Caudal restituído a régimen natural tramo 2 del río Quindío

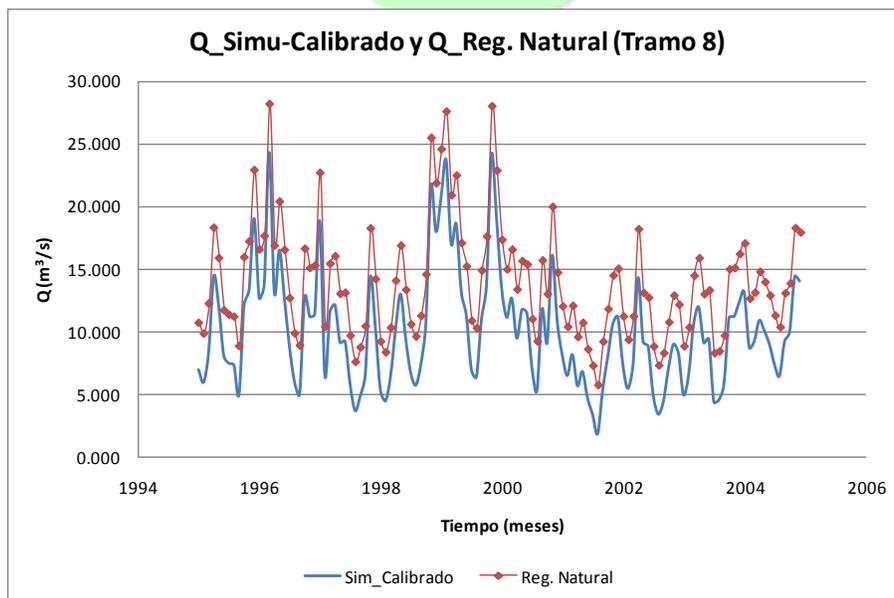


Figura N° 60 Caudal Simulado calibrado y Caudal restituído a régimen natural tramo 8 del río Quindío

Una vez realizada la restitución de caudales a régimen natural se procede a la estimación de los caudales ecológicos (Ambientales) mediante las diferentes metodologías que serán explicadas en las siguientes secciones.

8.0 APLICACION DE METODOLOGIAS Y RESULTADOS

Después de realizada la restitución de caudales a régimen natural para cada uno de los tramos de estudio mediante la herramienta SSD WEAP se pasa a estimar los caudales ecológicos con las diferentes metodologías a diferentes escalas temporales. Es importante resaltar que para los tramos que pertenecen a las estaciones limnigráficas (EPA, Palestina Baja, Centro de la Guadua y Calle larga) se trabaja con los valores originales suministrados por la CRQ y convertidos a régimen natural mediante balances hídricos, más no con la herramienta SSD WEAP, ya que así se puede establecer de manera más precisa los caudales ecológicos reales para estos tramos.

Para la aplicación de las diferentes metodologías se requiere la serie histórica completa (10 años a escala diaria), promedio mensual de dicha serie y algunos datos obtenidos mediante cálculos estadísticos como la media intranual, media interanual, Q300 y Q347. El caudal medio intranual es el promedio de los caudales diarios clasificados anualmente, y el caudal medio interanual es el promedio de los caudales diarios de toda la serie histórica (1995-2004). El Q300 hace referencia al caudal que es igualado o superado a los 300 días del año, siendo estos datos clasificados de mayor a menor anualmente; igual se hace para el Q347. Estos valores son útiles para algunas metodologías explicadas más adelante.

De forma práctica las metodologías se pueden clasificar según su escala temporal en tres (3) grupos: metodologías a escala anual, metodologías a escala mensual y metodologías con consideraciones temporales especiales. Las metodologías a escala anual muestran caudales ecológicos algo subjetivos si tenemos en cuenta que dicha escala temporal tiene un rango bastante amplio que abarca los diferentes cambios estacionales del clima a lo largo de este; dichos cambios son relevantes en el desarrollo y comportamiento de la cuenca y condicionan de forma directa a los cuerpos de agua. Las metodologías a escala mensual generan caudales ecológicos mucho más precisos debido a que tienen en cuenta el comportamiento climático de cada uno de los meses a lo largo de la serie histórica de datos. Por último se tienen las metodologías con consideraciones temporales especiales las cuales, a diferencia de las otras dos, generan valores puntuales para toda la serie histórica (método del 7Q10, entre otros); estos métodos son muy usados ya que aplicarlos y controlarlos es mucho más sencillo que las otras metodologías. En este punto se juntan los métodos hidrológicos e hidráulicos para facilitar el análisis.

En la Tabla N° 37 se muestra la distribución de las metodologías según su escala temporal:

ESCALAS TEMPORALES DE LAS METODOLOGÍAS APLICADAS		
ESCALA MENSUAL	ESCALA ANUAL	ESCALAS ESPECIALES
Texas	Matthey 1 (Q347)	Hoppe
Utah	Matthey 2 (Q347)	7Q10
NGPRP	Matthey 3 (Q347)	Método del IDEAM
AFC	DGOH España	Q90
Navarro	Suizo	Q97.5
Vasco	Asturiano	
Tessman		
Q95		

Tabla N° 37. Escala temporal de metodologías

A continuación se estiman los caudales ecológicos para los diferentes tramos de estudio para todas las metodologías y se hace especial referencia a las metodologías que se aplican en Colombia.

8.1 NACIMIENTO RÍO QUINDÍO – BOCATOMA EPA

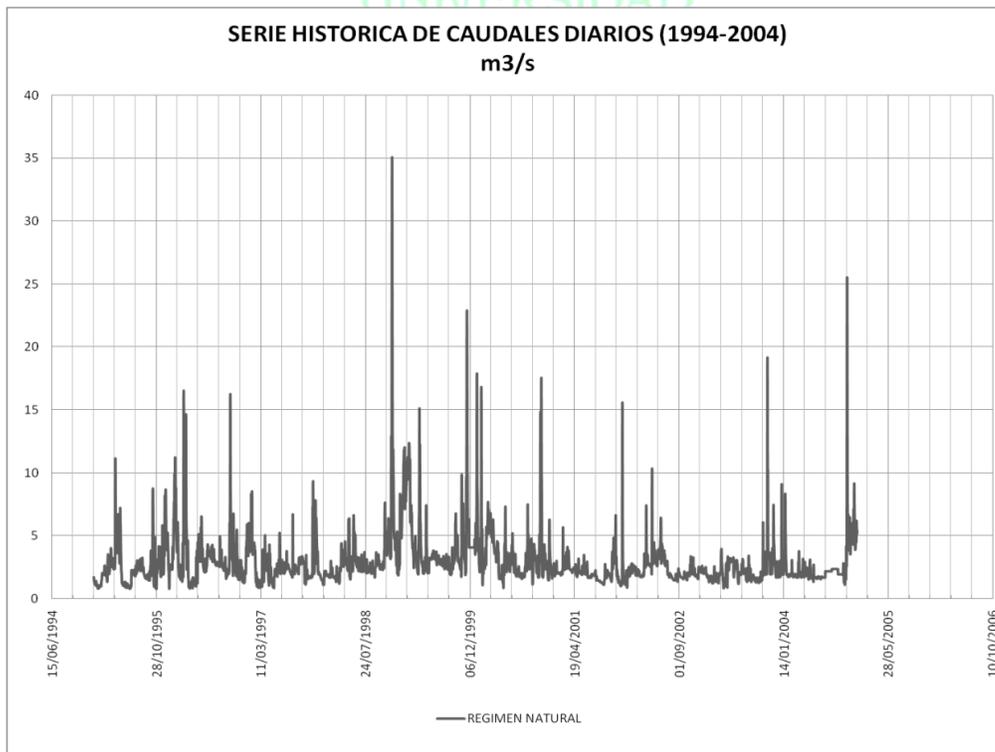


Figura N° 61 Serie histórica de caudales diarios Bocatoma EPA 1995-2004.

En este tramo actualmente se está haciendo un aprovechamiento por parte de las Empresas Públicas de Armenia (EPA), el cual alimenta la planta de tratamiento de agua potable de Regivit y esta a su vez distribuye el agua tratada a la ciudad de Armenia. En la Figura N° 61 se muestra la serie histórica de caudales a escala diaria y en la Figura N° 62 se representa la serie a escala mensual para este punto.

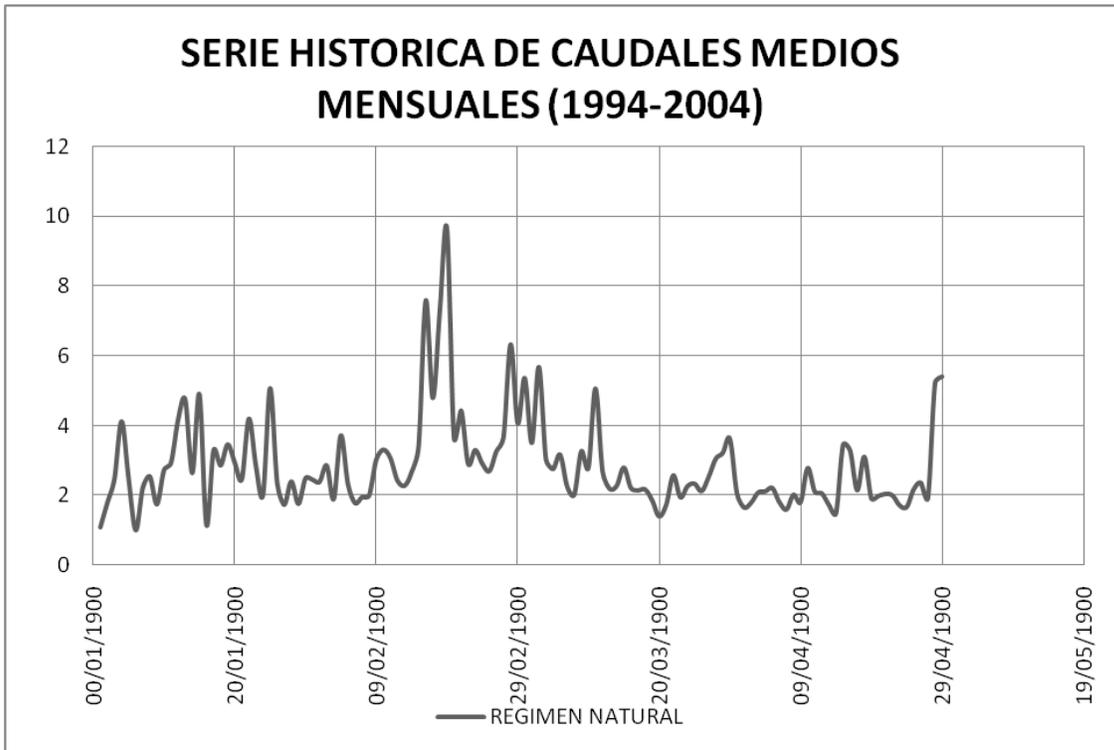


Figura N° 62 Serie histórica de caudales mensuales Bocatoma EPA 1995-2004

Los caudales de la estación de Boquía se encuentran entre más o menos 1 m³/s y 10 m³/s como se observa en las Figura N° 61 y Figura N° 62. Los caudales mayores a 5 m³/s son muestra de tormentas que se presentaron con periodos de retorno muy grandes.

La serie histórica completa en tablas se encuentra en los ANEXOS.

8.1.1 Información preliminar

Como se dijo anteriormente, para desarrollar los diferentes métodos se debe tener una información preliminar obtenida de cálculos estadísticos. Esta información se muestra en la Figura N° 63, la cual muestra la media intranual e interanual y los valores de Q300 y Q347.

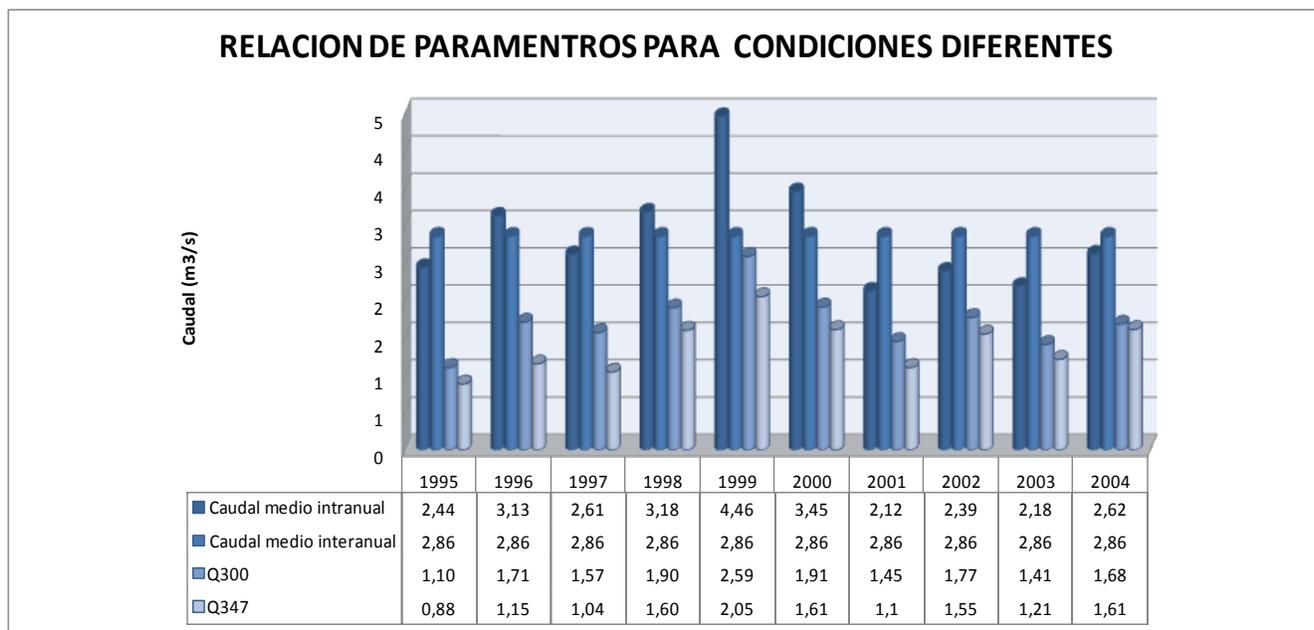


Figura N° 63 Serie histórica de caudales mensuales Bocatoma EPA 1995-2004

UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO

8.1.2 Metodologías a escala mensual

A continuación se aplican las metodologías a escala mensual, para el punto de Boquía, los resultados y las primeras conclusiones.

8.1.2.1 Método de Texas



El método de Texas trabajado en este estudio tiene una particularidad y es que no fue dividido en dos (2) periodos de tiempo al año sino en cuatro (4) debido a la variabilidad estacional de carácter bimodal que en nuestro país se presenta.

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	2.08
Febrero	1.78
Marzo	1.19
Abril	1.09
Mayo	1.06
Junio	1.52
Julio	1.4
Agosto	1.3
Septiembre	0.94
Octubre	1.15
Noviembre	1.64
Diciembre	1.92

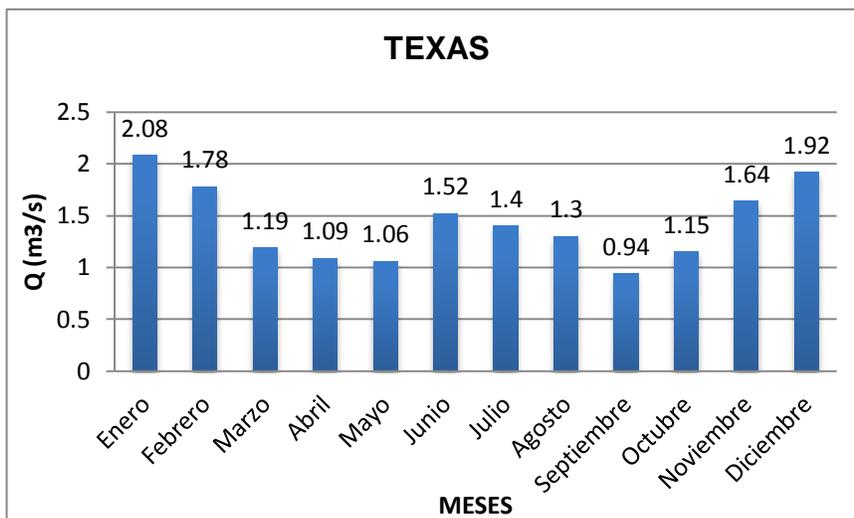


Figura N° 64 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de TEXAS

El método Texas para el tramo de Boquía presenta dos grandes vértices al comienzo y al final de la serie, teniendo a enero con un valor de 2.08 m³/s y diciembre con un valor de 1.92 m³/s en diciembre. Presenta otro crecimiento en el mes de junio con un valor de 1.52 m³/s.

Los valores arrojados por este método son bastante elevados, comparándolos con los caudales a régimen natural.

8.1.2.2 Método de Utah

El método Utah se basa en los caudales mínimos medios a escala mensual de toda la serie histórica, generando un régimen mensual de caudales mínimos.

En la Figura N° 65 se observa que los tres últimos meses del año son los que demandan mayor cantidad de caudal ecológico, debido a que en la serie histórica estudiada estos meses presentan un nivel de precipitación mayor en comparación al resto de meses del año. El comportamiento en los meses comprendidos entre enero y septiembre, tiene una forma variable con una caída de aproximadamente 1 m³/s en los meses de enero, abril y junio mostrándolos como los meses más críticos.

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	1.08
Febrero	1.59
Marzo	1.72
Abril	1.14
Mayo	1.75
Junio	0.99
Julio	1.66
Agosto	1.39
Septiembre	1.47
Octubre	1.89
Noviembre	1.94
Diciembre	2.02

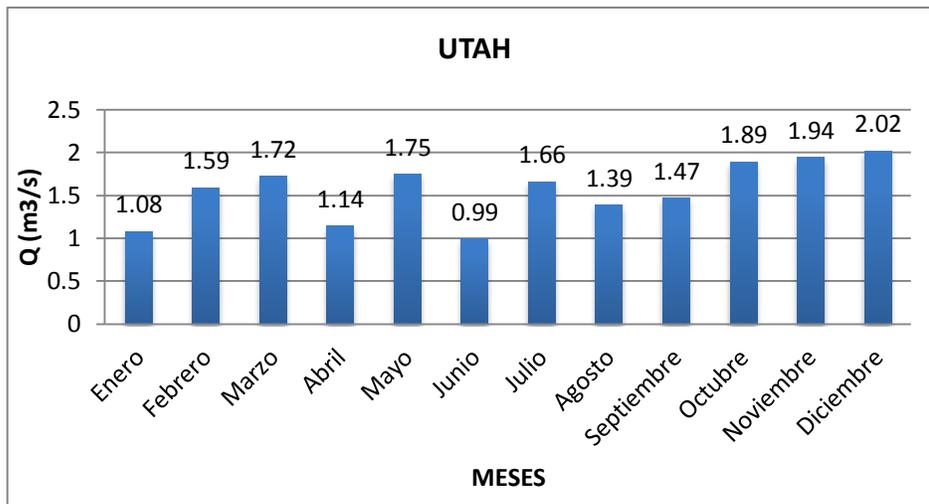


Figura N° 65 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de UTAH

8.1.2.3 Método de Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte de EE.UU (NGPRP)

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	0.76
Febrero	1.67
Marzo	1.74
Abril	1.75
Mayo	2.48
Junio	2.27
Julio	2.16
Agosto	1.70
Septiembre	1.68
Octubre	2.45
Noviembre	1.68
Diciembre	1.36

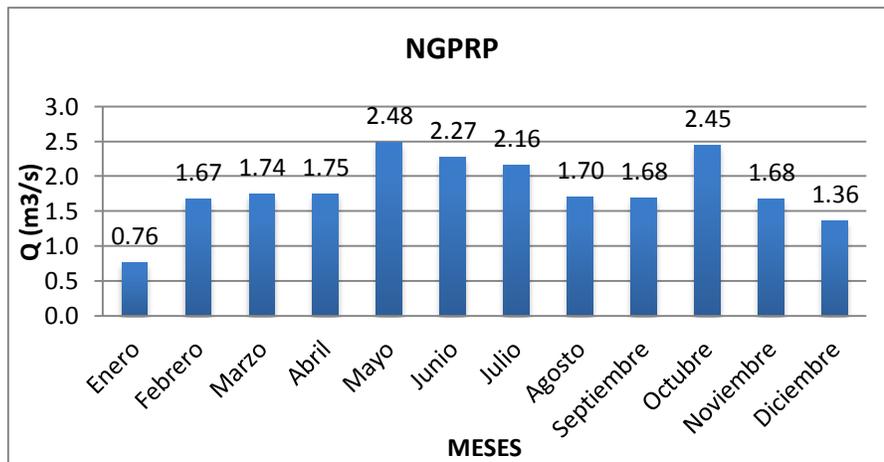


Figura N° 66 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de NGPRP

Como se puede observar en la Figura N° 66, los meses que más demandan caudal ecológico son mayo y octubre estando cercanos a los 2.5 m³/s. Por otra parte el nivel de caudal ecológico necesario para el mes de enero es muy bajo, teniendo una gran diferencia con la media anual.

8.1.2.4 Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves).

Régimen Anual del Q25 mensual medio (Modificación del Método)	
Enero	2.82
Febrero	2.55
Marzo	1.95
Abril	1.93
Mayo	1.67
Junio	2.13
Julio	2.42
Agosto	2.27
Septiembre	1.97
Octubre	1.88
Noviembre	2.37
Diciembre	2.37

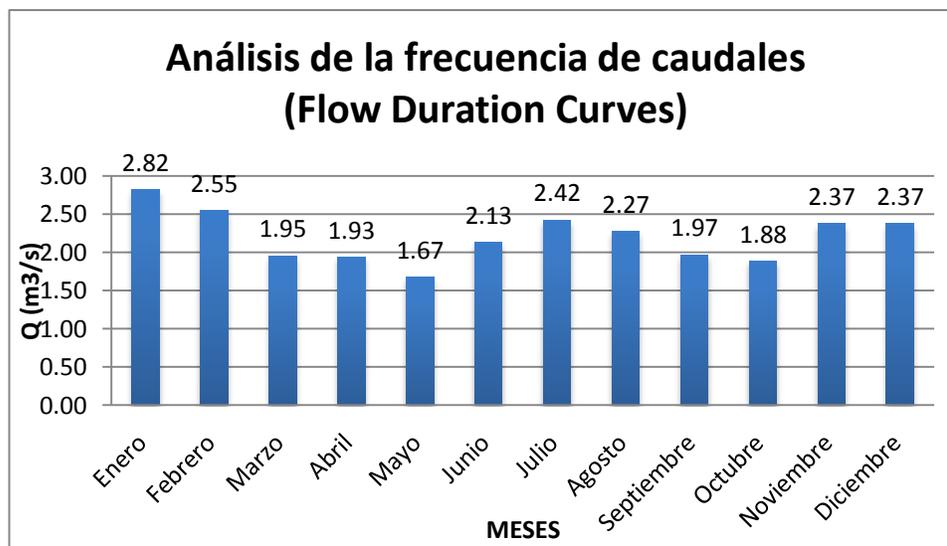


Figura N° 67 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Flow Duration Curves

Este método muestra una variación suave de los caudales mes a mes, con solo dos cambios bruscos en el paso de los meses de enero a febrero y marzo a abril, teniendo un cambio de 1.74 m³/s a 2.85 m³/s y de 2.72 m³/s a 1.93 m³/s respectivamente. El método arroja unos valores de caudales altos, siendo junio el mes con el caudal más bajo con un valor de 1.67 m³/s, lo cual al comparar con otros métodos permite manejar una gama amplia de posibilidades.

8.1.2.5 Método Navarro

El método de Navarro diferencia los caudales de acuerdo a si son zonas piscícolas de salmónidos o zonas piscícolas de ciprinidos. Para este estudio se toma la zona piscícola de ciprinidos debido a que en los cuerpos de agua de la UMC Río Quindío no hay salmónidos; debido a esto, en el método el comportamiento del régimen de caudal ecológico es totalmente lineal.

Se puede observar en la Figura N° 68 que el método Navarro es un método muy flexible y maneja un caudal ecológico constante para todos los meses, lo que es poco recomendable por la variación climatológica que se presenta a lo largo del año.

Zonas Piscícolas de Ciprinidos	
Enero	0.29
Febrero	0.29
Marzo	0.29
Abril	0.29
Mayo	0.29
Junio	0.29
Julio	0.29
Agosto	0.29
Septiembre	0.29
Octubre	0.29
Noviembre	0.29
Diciembre	0.29

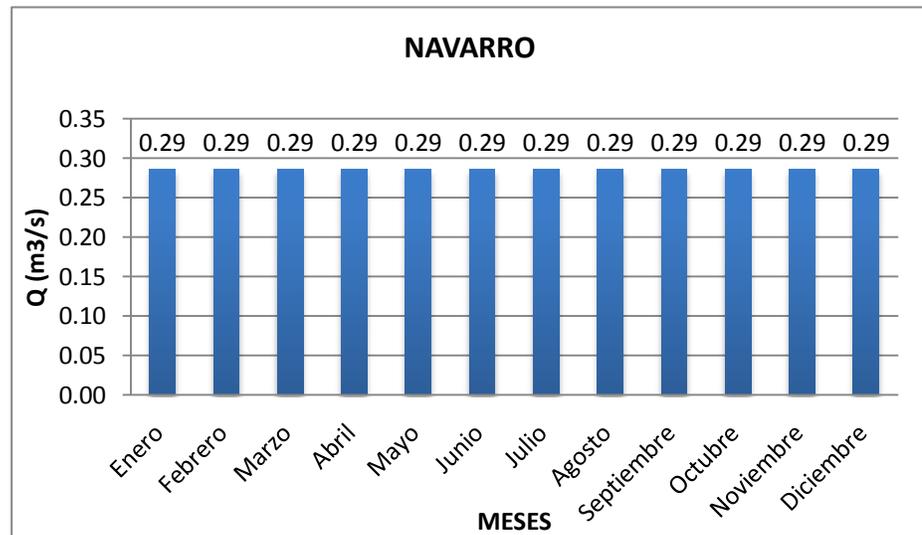


Figura N° 68 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Navarro

8.1.2.6 Método Vasco

Regimen de Caudal Ecológico mínimo	
Enero	0.84
Febrero	0.72
Marzo	0.77
Abril	0.72
Mayo	0.70
Junio	0.70
Julio	0.68
Agosto	0.63
Septiembre	0.67
Octubre	0.75
Noviembre	0.96
Diciembre	0.83

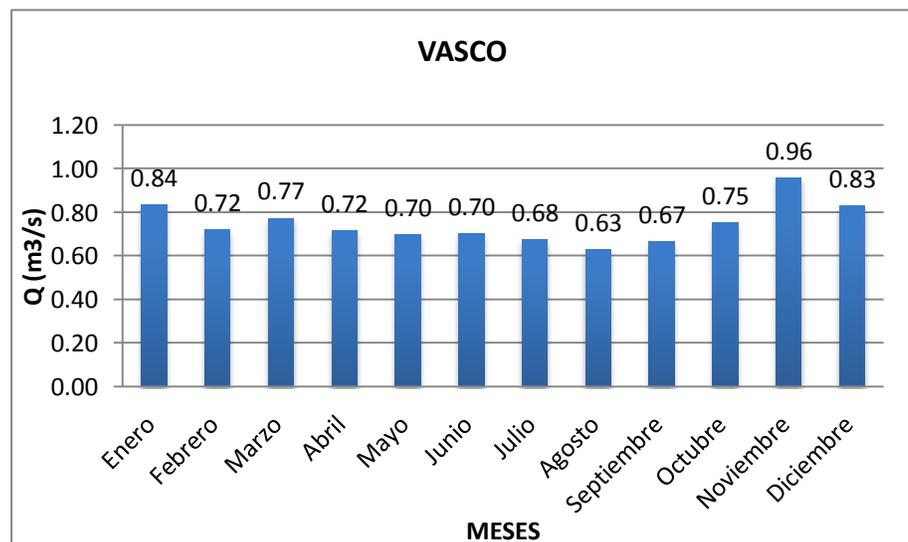


Figura N° 69 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Vasco

Este método a diferencia de otros como el de Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves), muestra unos valores de caudal ecológico bastante bajos, lo cual deja evidenciar que el método es poco conservador y es poco confiable en el momento de ser tenido en cuenta para una toma de decisiones.

8.1.2.7 Método de Tessman

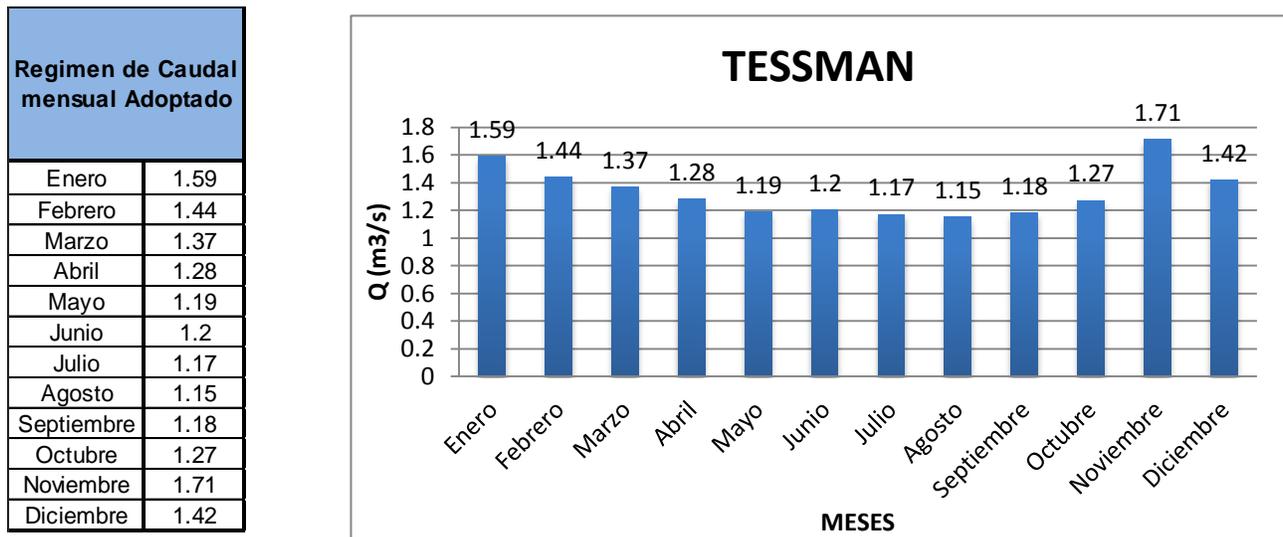


Figura N° 70 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Tessman

Este método muestra un comportamiento muy uniforme, uno de los factores que influye en esta uniformidad es la naturaleza netamente hidráulica de este método, lo cual comparándolo con el comportamiento a régimen natural muestra una diferencia de forma. El comportamiento climático que afecta el régimen natural no presenta una uniformidad parecida, lo cual conlleva a tener una precaución alta en el momento de ser tenidos en cuenta estos datos.

Corporación Autónoma Regional del Quindío

8.1.2.8 Método del Q95 (Aplicado en Colombia)

Este método hace parte del proyecto de resolución que hace referencia a la necesidad de estimar los caudales ecológicos en las UMC's del país. Para el desarrollo de este método es necesario obtener la curva de duración de caudales para cada uno de los meses pertenecientes a la serie histórica de 10 años, con el fin de obtener un Q95 mensual para así generar el régimen de estos.

Debido a que existe algunos meses en los cuales no existe información de los caudales, y sabiendo que a dichos meses se les completó ese vacío con los caudales obtenidos del proceso de restitución a régimen natural (FAO); no es conveniente utilizarlos en el cálculo del régimen de caudales ecológicos mediante el método Q95 ya que aunque dichos datos demuestran que se pueden aplicar perfectamente al estudio, no son tan confiables como la información obtenida mediante la estación limnigráfica de Bocatoma EPA.

Regimen anual del Q95	
Enero	1.38
Febrero	1.98
Marzo	1.91
Abril	1.30
Mayo	1.82
Junio	1.12
Julio	1.74
Agosto	1.24
Septiembre	1.55
Octubre	2.00
Noviembre	2.21
Diciembre	2.18

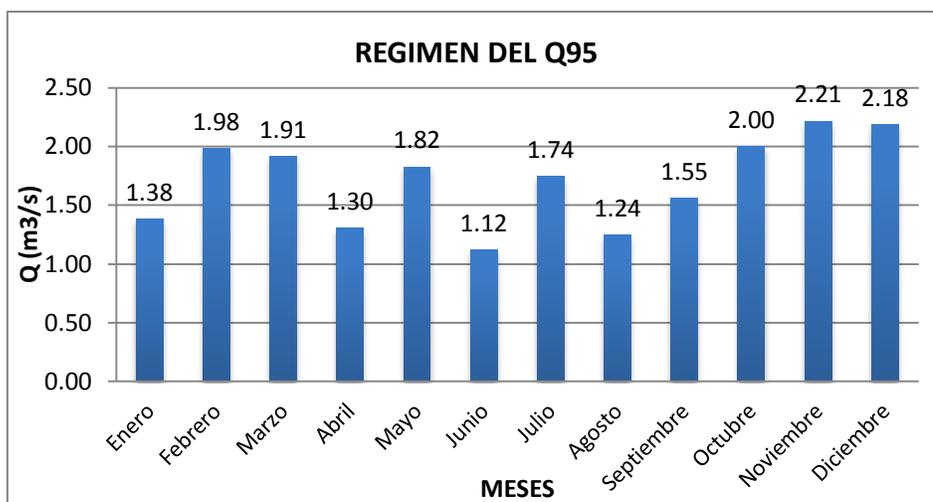


Figura N° 71 Régimen adoptado de caudales mensuales Bocatoma EPA – Método de Q95

En este tramo el método del Q95 conlleva a unos resultados que se mantienen muy aproximados por debajo a la media de las metodologías a nivel mensual. Es de suma importancia analizar con detalle estos datos, debido que este método está incluido en el nuevo proyecto de resolución.

8.1.2.9 Resumen y conclusiones



A continuación se muestra en la Figura N° 72 la tabla resumen con las metodologías a escala mensual y el gráfico comparativo que muestra la diferencia entre estas, así como el promedio mensual multianual que genera un régimen promedio de todas las metodologías.

Promedio mensual multianual	
Enero	1.35
Febrero	1.50
Marzo	1.37
Abril	1.19
Mayo	1.37
Junio	1.28
Julio	1.44
Agosto	1.25
Septiembre	1.22
Octubre	1.46
Noviembre	1.60
Diciembre	1.55

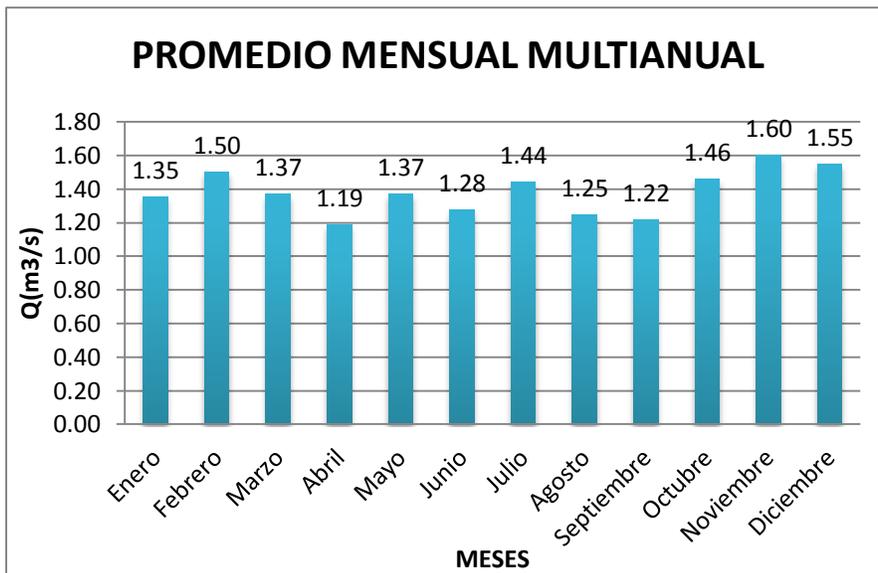


Figura N° 72 Promedio mensual multianual de caudales ecológicos Bocatoma EPA

En este promedio mensual multianual se observa un rango de caudales ecológicos entre 1.146 y 1.412 m³/s, teniendo en cuenta que en las diferentes temporadas del año los caudales medios mensuales oscilan entre 1.4 y 4.3 m³/s, se puede presentar que en algunas ocasiones no se pueda hacer aprovechamiento del río, si estos datos fueran tomados como referencia para hacer las concesiones del recurso hídrico.



ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	2.08	1.78	1.19	1.09	1.06	1.52	1.40	1.30	0.94	1.15	1.64	1.92
Utah	1.08	1.59	1.72	1.14	1.75	0.99	1.66	1.39	1.47	1.89	1.94	2.02
NGPRP	0.76	1.67	1.74	1.75	2.48	2.27	2.16	1.70	1.68	2.45	1.68	1.36
AFC	2.82	2.55	1.95	1.93	1.67	2.13	2.42	2.27	1.97	1.88	2.37	2.37
Navarro	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Vasco	0.84	0.72	0.77	0.72	0.70	0.70	0.68	0.63	0.67	0.75	0.96	0.83
Tessman	1.59	1.44	1.37	1.28	1.19	1.20	1.17	1.15	1.18	1.27	1.71	1.42
Q95	1.38	1.98	1.91	1.30	1.82	1.12	1.74	1.24	1.55	2.00	2.21	2.18

Tabla N° 38. Comparación Caudales Ecológicos de metodologías a escala mensual Bocatoma EPA

UNIVERSIDAD
DEL QUINDIO



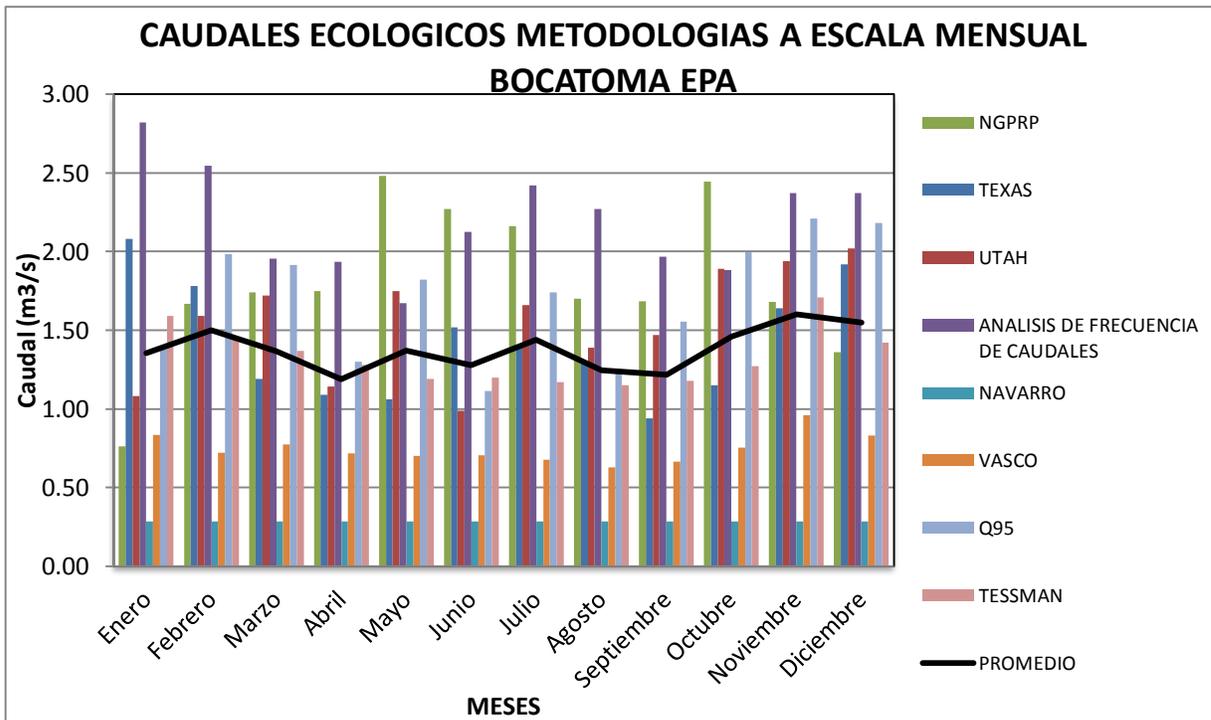


Figura N° 73 Comparación de Caudales Ecológicos metodológicos a escala mensual – Bocatoma EPA

En la Figura N° 73 se observa un comportamiento variable durante el transcurso los meses, evidenciando que los métodos más conservadores para este punto son el Análisis de Frecuencia de Caudales, el NGPRP y el método de Utah.

El método del Q95 se mantiene sobre la media de los diferentes métodos, teniendo un comportamiento muy regular. Este método es muy relevante debido a que es uno de los métodos exigidos por el nuevo proyecto de resolución en Colombia.

Los métodos Vasco y Navarro muestran unos niveles de caudal ecológico muy bajos, lo cual es un aspecto poco confiable con respecto al mantenimiento del hábitat natural del río en este sector.

Aunque el método NGPRP da valores muy altos, hay que tener en cuenta que dicho método fue concebido para las grandes llanuras de USA, caso contrario al que se presenta en la región y más precisamente en la UMC Río Quindío.

Para un análisis más preciso de la información obtenida en este tramo a continuación se muestra en la Figura N° 74 y la Figura N° 75 el análisis de las diferentes metodologías en los doce (12) meses del año, generando un comportamiento particular para cada mes.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

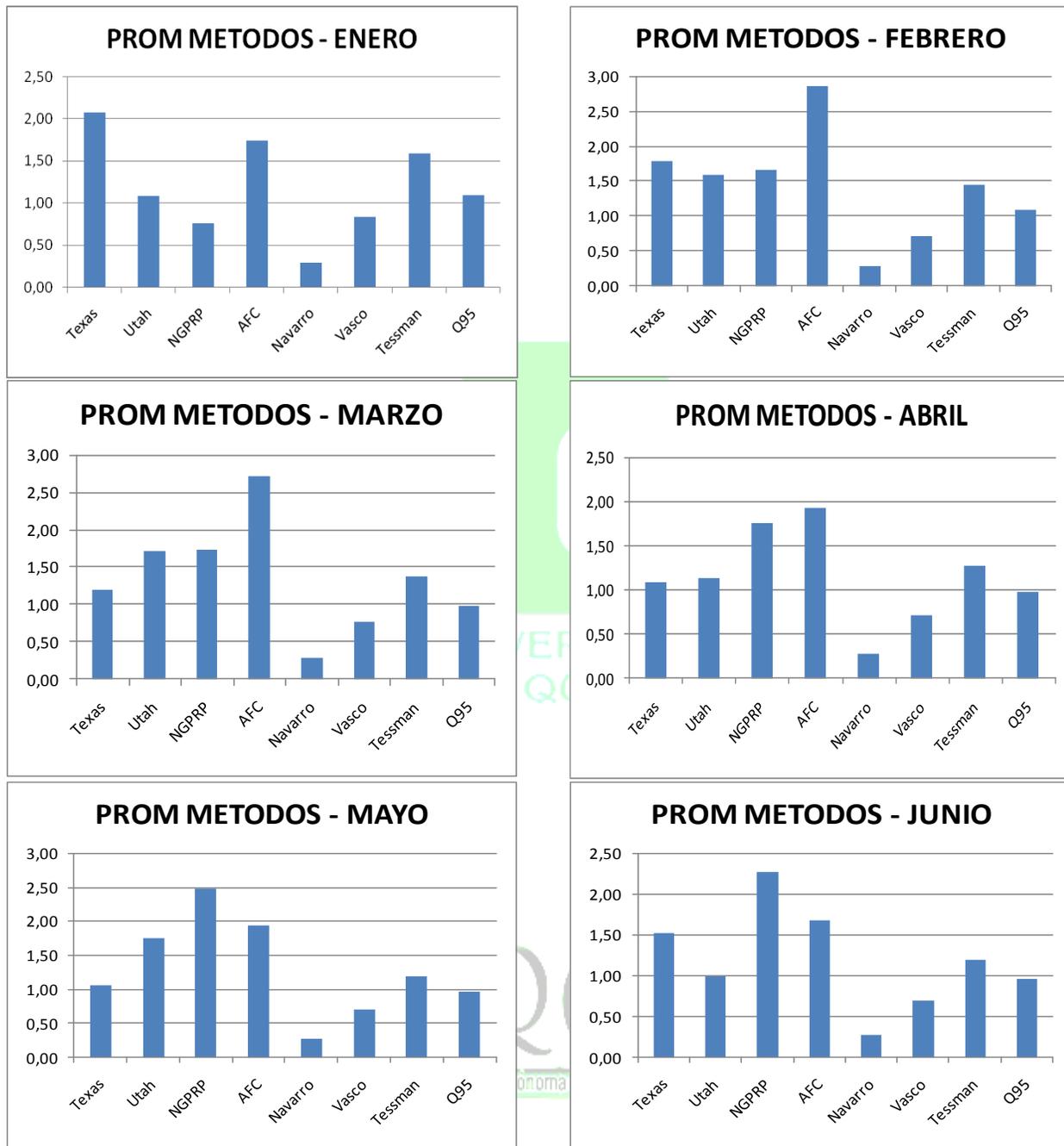


Figura N° 74 Comportamiento de las metodologías en cada mes (Bocatoma EPA). (1)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

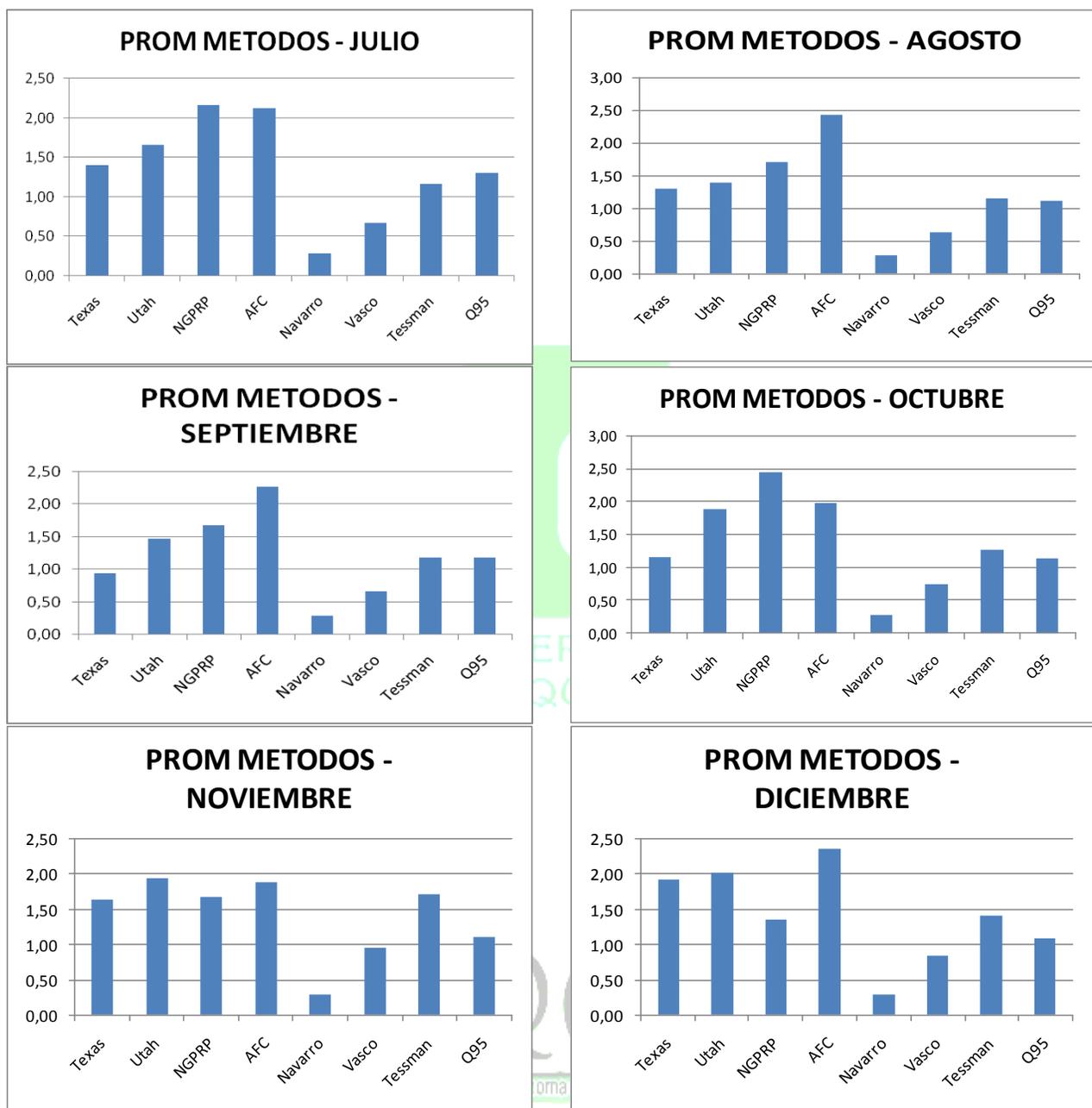


Figura N° 75 Comportamiento de las metodologías en cada mes (Bocatoma EPA). (2)

Para los meses de enero, abril y junio se tienen los caudales ecológicos más bajos de la serie, caso contrario sucede con febrero, noviembre y diciembre, los cuales registran los caudales ecológicos demandados más altos del análisis. Se evidencia unos caudales medio bajos para el método Q95 en el transcurso de los meses.

8.1.3 Metodologías a escala anual

Las metodologías a escala anual son hidrológicas en su totalidad y se basan en la conservación de las especies que habitan los cuerpos de agua, exceptuando al DGOH el cual es un porcentaje puntual para cada año siguiendo consideraciones españolas.

8.1.3.1 Método de Matthey

El método de Matthey se basa en tres (3) formulas diferentes que tienen en cuenta el Q300 y el Q347, sabiendo que dichos caudales serán superados por un gran porcentaje de caudales al año. Dicha metodología profundiza más en las formulas obtenidas a partir del Q347, ya que estas tienen en cuenta caudales más bajos que el Q300.

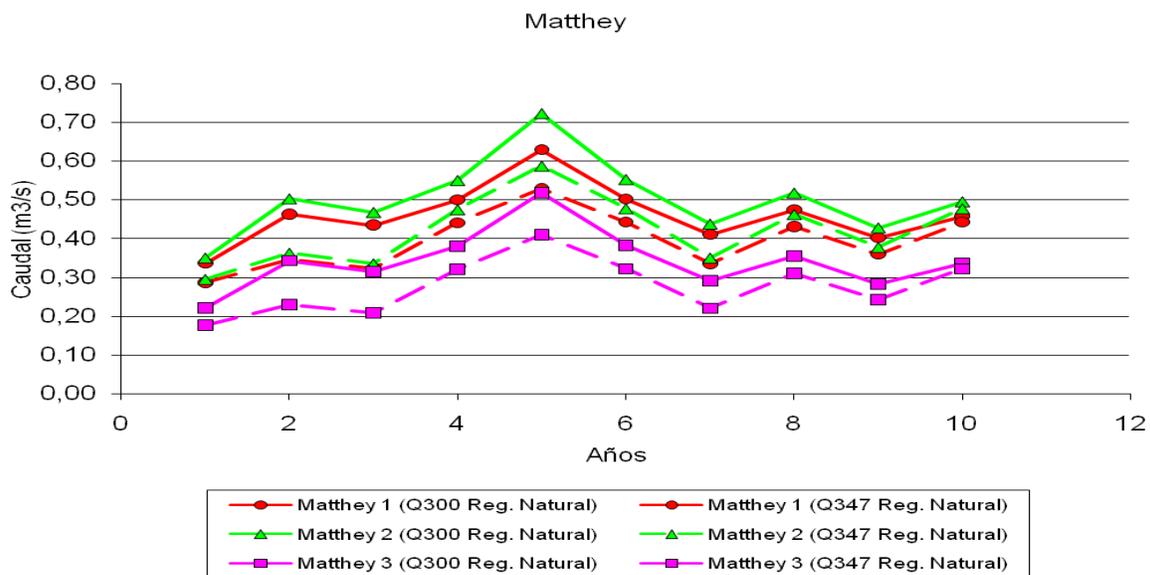


Figura N° 76 Metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) – Método de Matthey

Matthey					
(1)		(2)		(3)	
Qmin ₃₀₀	Qmin ₃₄₇	Qmin ₃₀₀	Qmin ₃₄₇	Qmin ₃₀₀	Qmin ₃₄₇
0.34	0.29	0.35	0.30	0.22	0.18
0.46	0.35	0.50	0.36	0.34	0.23
0.43	0.32	0.47	0.34	0.31	0.21
0.50	0.44	0.55	0.48	0.38	0.32
0.63	0.53	0.72	0.59	0.52	0.41
0.50	0.44	0.55	0.48	0.38	0.32
0.41	0.34	0.44	0.35	0.29	0.22
0.47	0.43	0.52	0.46	0.35	0.31
0.40	0.36	0.43	0.38	0.28	0.24
0.46	0.44	0.50	0.48	0.34	0.32

Tabla N° 39. Metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) - Método de Matthey

A partir de la Figura N° 76 se evidencia que los valores obtenidos con las ecuaciones que involucran al Q300 son mucho más conservadores que las que se desarrollan con el Q347 debido a que no tienen en cuenta los caudales más bajos clasificados anualmente. También se observa que la primera ecuación es más conservadora que las otras y que en el año 2000 se tienen los caudales más altos para las tres (3) ecuaciones desarrolladas.

8.1.3.2 Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH)

Este método se basa en un porcentaje dado por la DGOH para cada año de la serie histórica.

La Figura N° 77 muestra unos caudales muy bajos, que no son recomendables debido a que no serían suficientemente confiables para mantener el hábitat y las características hidrológicas de la UMC Río Quindío. Por otro lado los parámetros de cálculo de estos caudales fueron determinaciones bajo consideraciones netamente españolas, lo cual lo hace un método poco apto para aplicar en la cuenca en estudio por las diferencias hidráulicas, hidrologías y meteorológicas que existen entre las dos zonas.

DGOH España Q10%	
1995	0.24
1996	0.31
1997	0.26
1998	0.32
1999	0.45
2000	0.35
2001	0.21
2002	0.24
2003	0.22
2004	0.26

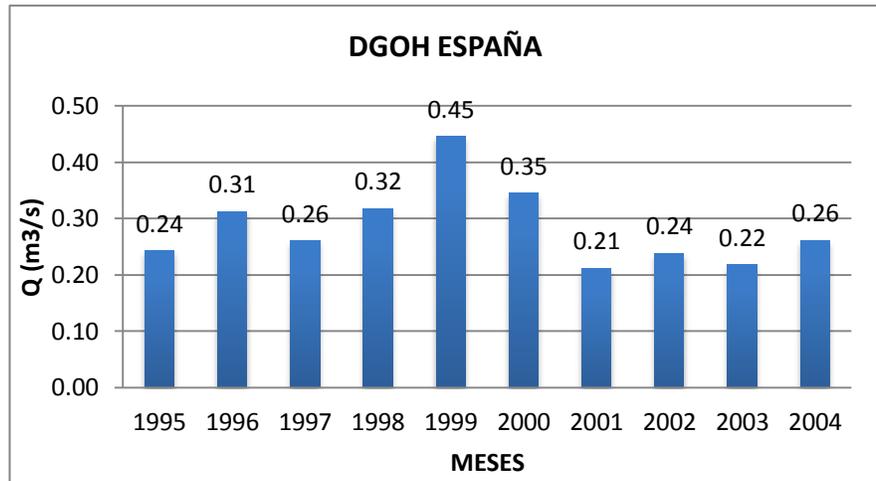


Figura N° 77 Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método de DGOH

8.1.3.3. Método Suizo

Este método diferencia las aguas piscícolas de las no piscícolas, determinando según la clasificación una serie de ecuaciones que dependen de las características hidrológicas del año y del Q347, permiten obtener el caudal ecológico. Para este caso se trabaja con aguas piscícolas.

Aguas Piscícolas	
1995	0.13
1996	0.28
1997	0.13
1998	0.28
1999	0.28
2000	0.28
2001	0.13
2002	0.13
2003	0.13
2004	0.13

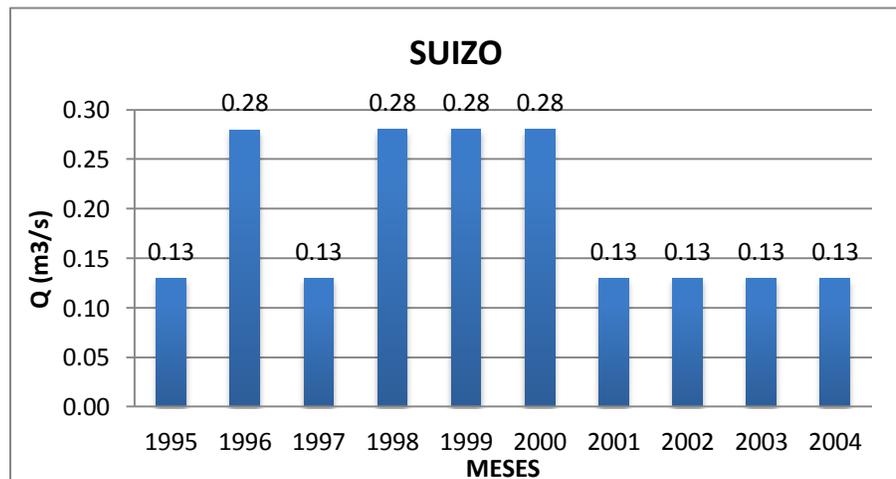


Figura N° 78 Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Suizo

Según la información suministrada, en la Figura N° 78 se puede observar que los años que alcanzan un valor mayor o igual a 0.28 m³/s son 1996, 1998, 1999 y 2000, siendo este un valor

bajo (a pesar de ser el máximo de la serie) para mantener las condiciones físicas del río y su hábitat natural.

8.1.3.4 Método Asturiano

Este método diferencia tres niveles de protección: las ecuaciones utilizadas en el método Suizo para el primer nivel e incrementos en el caudal para los otros dos niveles según el área aprovechada de la UMC. Los resultados fueron:

Asturiano			
Año	Nivel de Protección Base I	Nivel de Protección Medio II	Nivel de Protección Maximo III
	Qmin (m3/s)	Qmin (m3/s)	Qmin (m3/s)
1995	0.31	0.88	1.44
1996	0.40	0.97	1.54
1997	0.36	0.93	1.50
1998	0.56	1.13	1.69
1999	0.72	1.28	1.85
2000	0.56	1.13	1.70
2001	0.39	0.95	1.52
2002	0.54	1.11	1.68
2003	0.42	0.99	1.56
2004	0.56	1.13	1.70

Tabla N° 40. Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Asturiano

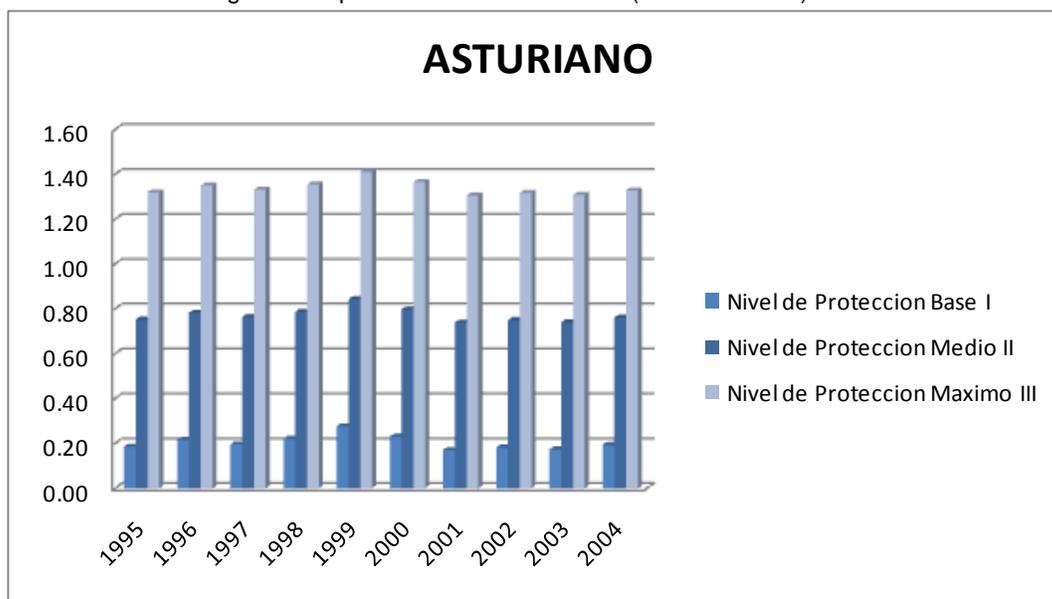


Figura N° 79 Régimen adoptado de caudales anuales (Bocatoma EPA) – Método Asturiano

Se muestra en la Figura N° 79 que el método asturiano maneja tres niveles de protección, los cuales tienen un comportamiento escalonado. Se presenta un caudal medio alto en el nivel de protección máximo, el cual es un caudal bastante conservador para ser tenido en cuenta. El nivel de protección base genera un caudal muy bajo, el cual no es recomendable adoptar a la hora de dar concesiones de agua. El nivel medio se aproxima a una medida aceptable de caudal ecológico, pero no alcanza a ser una medida suficientemente confiable para la toma de decisiones.

8.1.3.5 Resumen y conclusiones

A continuación se muestra en la Figura N° 80 y Tabla N° 41 el resumen, así como el promedio multianual de las metodologías y la caracterización por años de estas.

Meses	Promedio anual
1995	0.429
1996	0.512
1997	0.459
1998	0.588
1999	0.684
2000	0.594
2001	0.461
2002	0.542
2003	0.481
2004	0.555

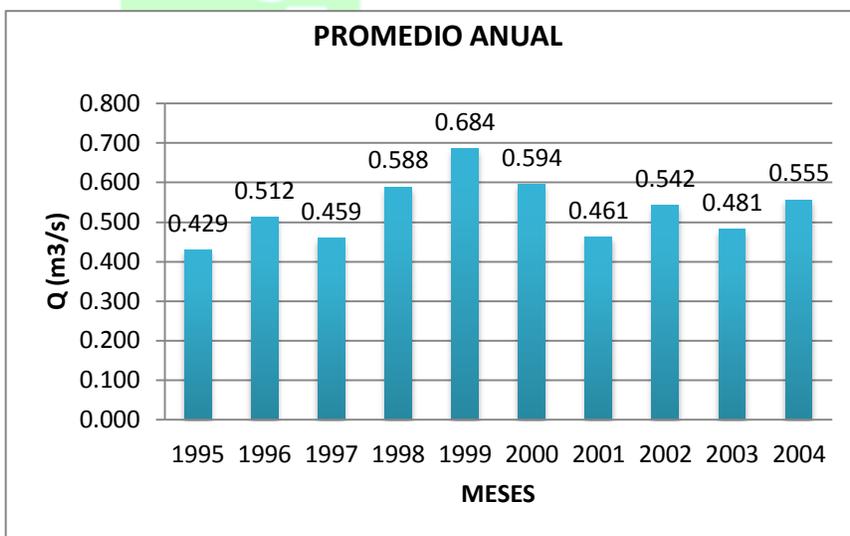


Figura N° 80 Promedio multianual (Bocatoma EPA) 1995 – 2004

Estas metodologías son demasiado flexibles a comparación con las metodologías a escala mensual, debido a la cantidad de datos que abarcan para su análisis. Estos datos no demuestran el verdadero comportamiento hidrológico de la UMC por lo que no son aplicables al estudio particular de la UMC Río Quindío.

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.29	0.35	0.32	0.44	0.53	0.44	0.34	0.43	0.36	0.44
Matthey 2 (Q347)	0.30	0.36	0.34	0.48	0.59	0.48	0.35	0.46	0.38	0.48
Matthey 3 (Q347)	0.18	0.23	0.21	0.32	0.41	0.32	0.22	0.31	0.24	0.32
DGOH España	0.24	0.31	0.26	0.32	0.45	0.35	0.21	0.24	0.22	0.26
Suizo	0.13	0.28	0.13	0.28	0.28	0.28	0.13	0.13	0.13	0.13
Asturiano	1.44	1.54	1.50	1.69	1.85	1.70	1.52	1.68	1.56	1.70

Tabla N° 41. Comparación de metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) 1995 - 2004



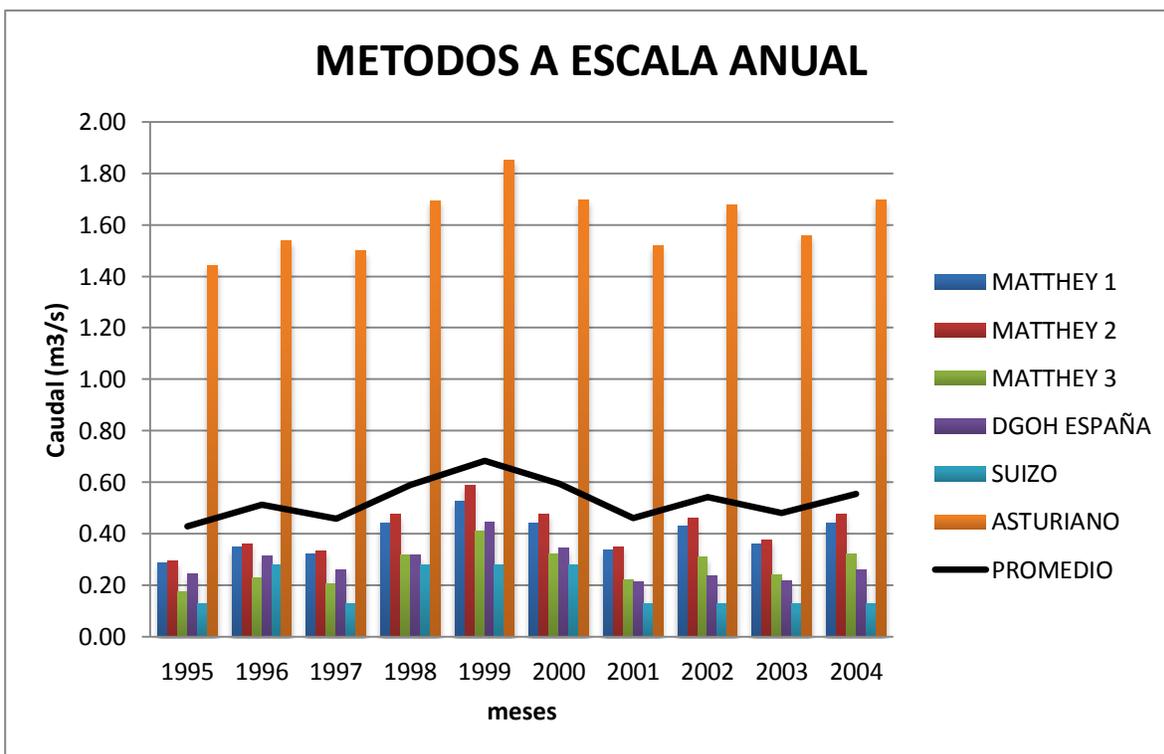


Figura N° 81 Comparación de metodologías a escala anual (Bocatoma EPA) 1995 -2004

Los métodos a escala anual son poco adecuados ya que al obtener un valor puntual de caudal ecológico, y sabiendo que el comportamiento hidrológico del río es variable a lo largo del año, dicho valor no representaría de forma real el comportamiento de la cuenca en los diferentes meses del año.

En la Figura N° 81 se puede observar la diferencia que existe entre el método Asturiano y los demás métodos, resaltando lo limitado de los métodos a escala anual y sus valores tan poco conservadores para los caudales ecológicos y la protección del ecosistema acuático.

A continuación se muestra en la Figura N° 82 y Figura N° 83 la comparación de los métodos a escala anual para cada uno de los años pertenecientes al periodo de estudio.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

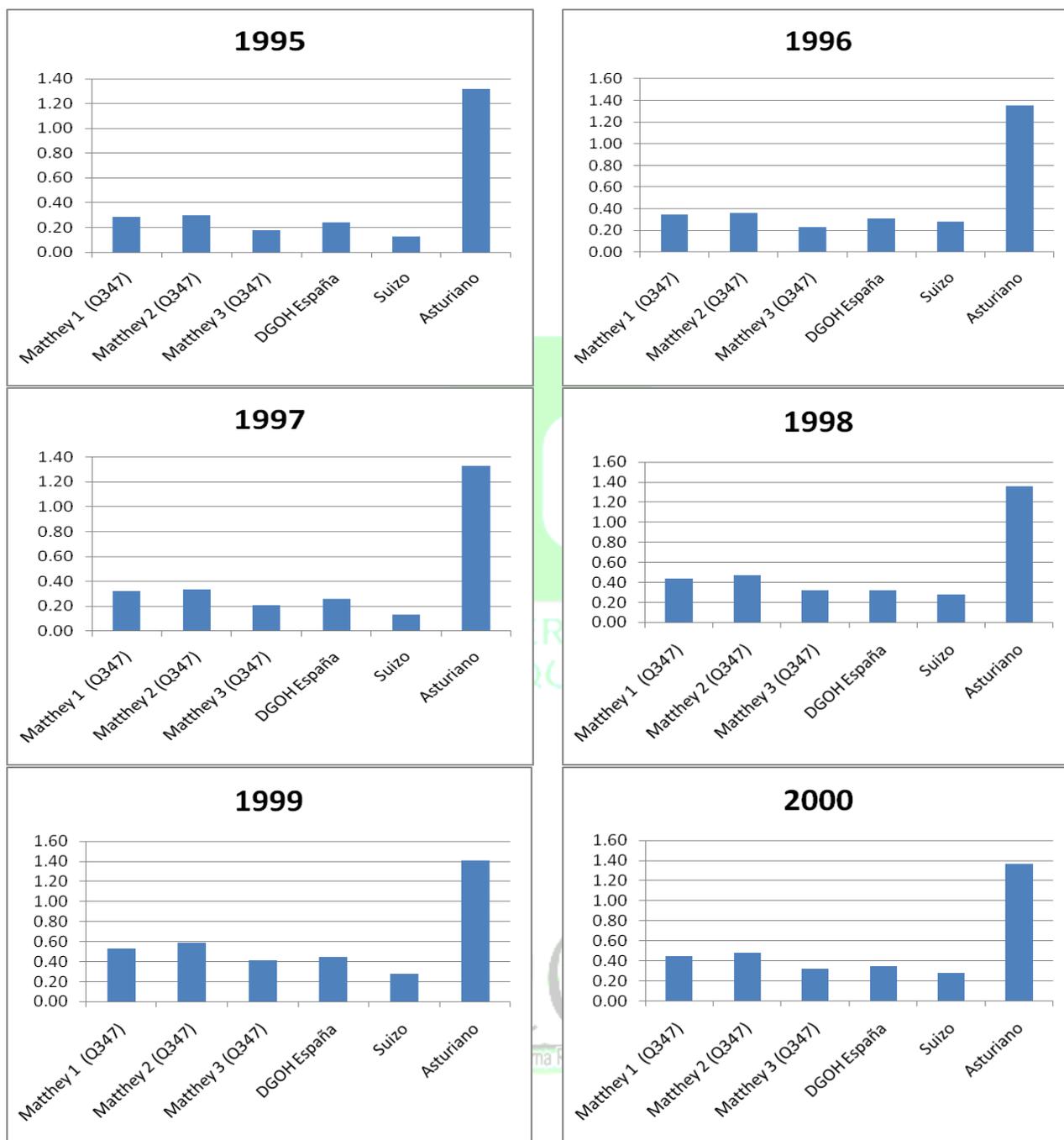


Figura N° 82 Comportamiento de las metodologías en cada año (Bocatoma EPA) 1995 – 2004 (1)

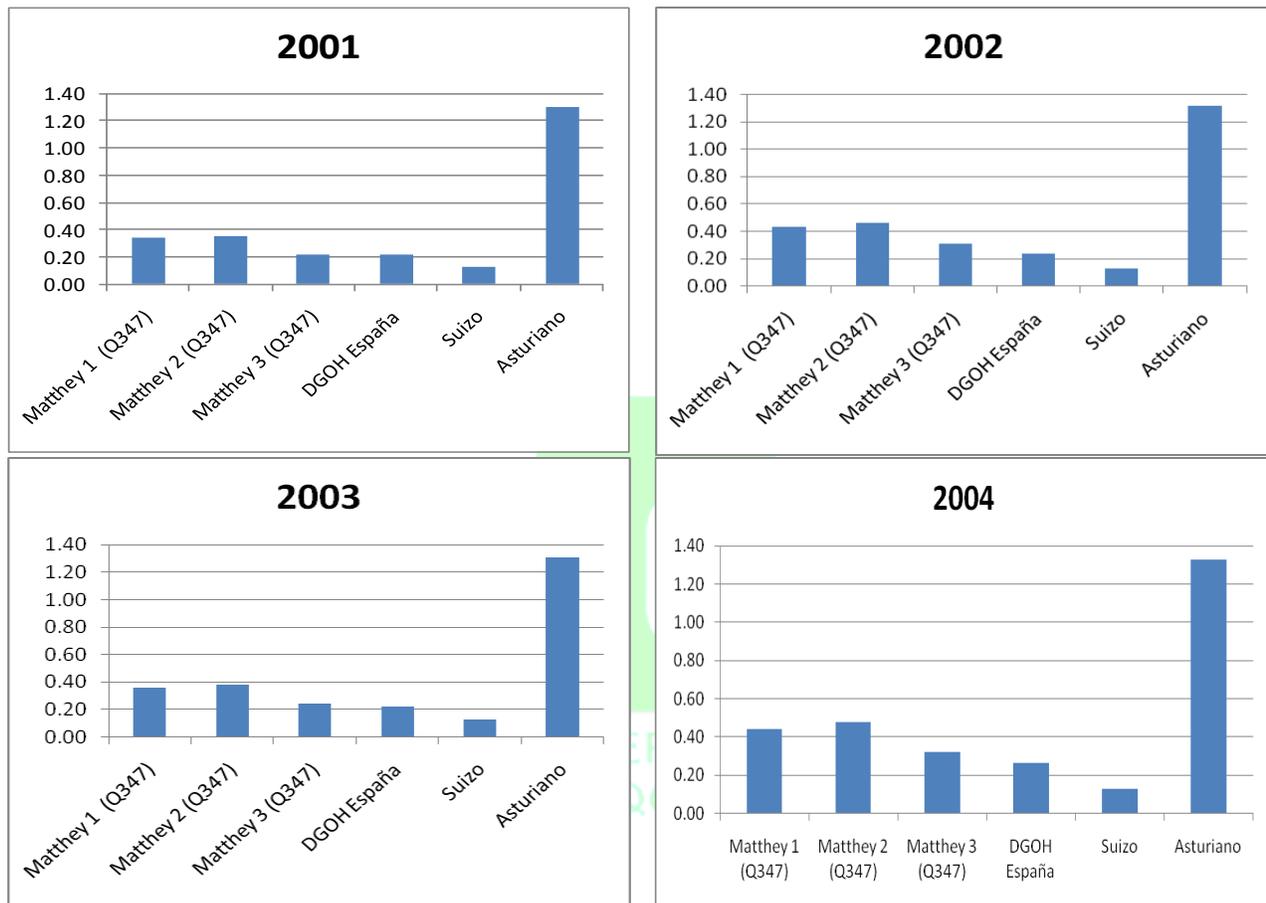


Figura N° 83 Comportamiento de las metodologías en cada año (Bocatoma EPA) 1995 – 2004 (2)

En general todas las metodologías tienen un comportamiento muy similar con caudales muy bajos teniendo en cuenta que la oferta en el sector de Boquía está entre 1.4 y 4.3 m³/s. Los años más secos son 1995, 1997, 2001 y 2003, caso contrario pasa con los años 1998, 1999 y 2000.



8.1.4 Metodología sin escala temporal

Esta metodología no obedece a una escala temporal periódica sino a un valor puntual que se ajusta a las características del método.

8.1.4.1 Método de Hoppe

Este método tiene en cuenta tanto consideraciones hidrológicas como la favorabilidad de las especies en los cuerpos de agua, y divide en tres características principales obteniendo para cada una de ellas los caudales ecológicos correspondientes como se muestra en la Tabla N° 42.

Hoppe		
Producción de alimento y cobertura	Desove	Flujo de Avenida
3.50	2.10	1.68

Tabla N° 42. Método a escala especial (Bocatoma EPA) – Hoppe

8.1.5 Metodologías aplicadas en Colombia

Algunas metodologías a continuación mencionadas fueron aplicadas en Colombia a mediados de la década del 2000 y otras están contempladas en el proyecto de resolución propuesto para estimar caudales ecológicos en las cuencas del país. Es importante resaltar que entre estas metodologías también hace parte el Q95, pero que por razones prácticas fue mencionada en las metodologías a escala mensual.

8.1.5.1 Método del 7Q10

Este método hace alusión a los siete (7) días consecutivos de caudales mínimos en un periodo de diez (10) años. Se obtiene a partir de un análisis de frecuencias con los caudales promedios mínimos de cada uno de los años de la serie histórica en estudio. A continuación se muestra el análisis de frecuencias (Tabla N° 43 y Figura N° 84) y el valor obtenido gráficamente del 7Q10.

ANÁLISIS DE FRECUENCIA			
Posición m	Año	7Q Mínimo	Tr
1	1995	0.829	11.00
2	1996	0.947	5.50
3	2003	0.957	3.67
4	1997	0.957	2.75
5	2001	1.066	2.20
6	1998	1.289	1.83
7	2004	1.366	1.57
8	2002	1.457	1.38
9	2000	1.560	1.22
10	1999	2.044	1.10

Tabla N° 43. Análisis de frecuencia (Bocatoma EPA) – Método del 7Q10

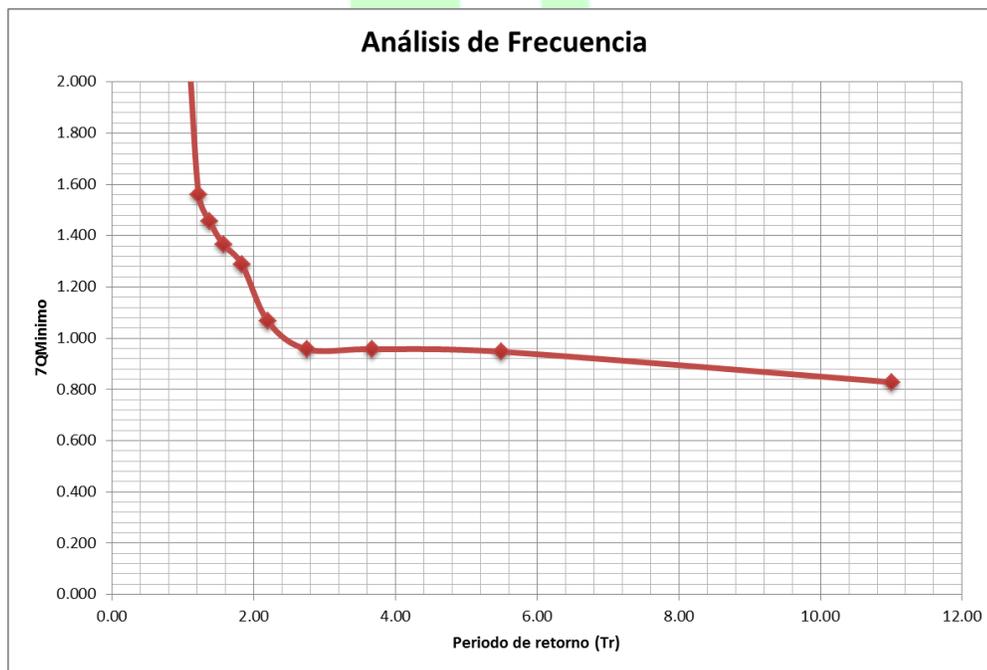


Figura N° 84 Análisis de frecuencia Método del 7Q10 (Bocatoma EPA) 1995-2004

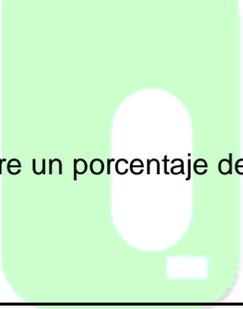
Se obtiene entonces que:

Valor de 7Q10 (m³/s)
0.840

El método del 7Q10 arroja un valor puntual según el comportamiento hidrológico de toda la serie histórica de 10 años, para este caso dicha serie de 10 años es consecutiva. Para este punto (Bocatoma EPA) se observa que dicho valor obedece a un comportamiento normal según el caudal que pasa diariamente por allí, aunque si se tiene en cuenta que para épocas de estiaje el caudal que pasa por allí oscila entre 0.9 y 1.7 m³/s, y sabiendo que allí se presenta la extracción más importante de agua hacia el acueducto de la ciudad de Armenia (concesión =1.5 m³/s), este valor de caudal ecológico no se estaría cumpliendo allí generando un estrés hídrico importante para ese tramo. Debido a que existen métodos que dan valores más altos, este método se mantiene entre los valores del promedio mensual.

8.1.5.2 Método del IDEAM (2004)

Dicho método toma un valor puntual sobre un porcentaje del 75% sobre las medias mensuales de la serie histórica.



Descuento del 75% Qmin (m³/s)
0.543

Este valor es muy bajo para las necesidades del tramo de estudio y debido a que es un dato puntual, no puede establecer un parámetro claro a la hora de dar una concesión del recurso hídrico.

8.1.5.3 Método del Estudio Nacional del Agua Q 97.5 (2004)

A partir de la curva de duración de caudales se obtiene el Q97.5.

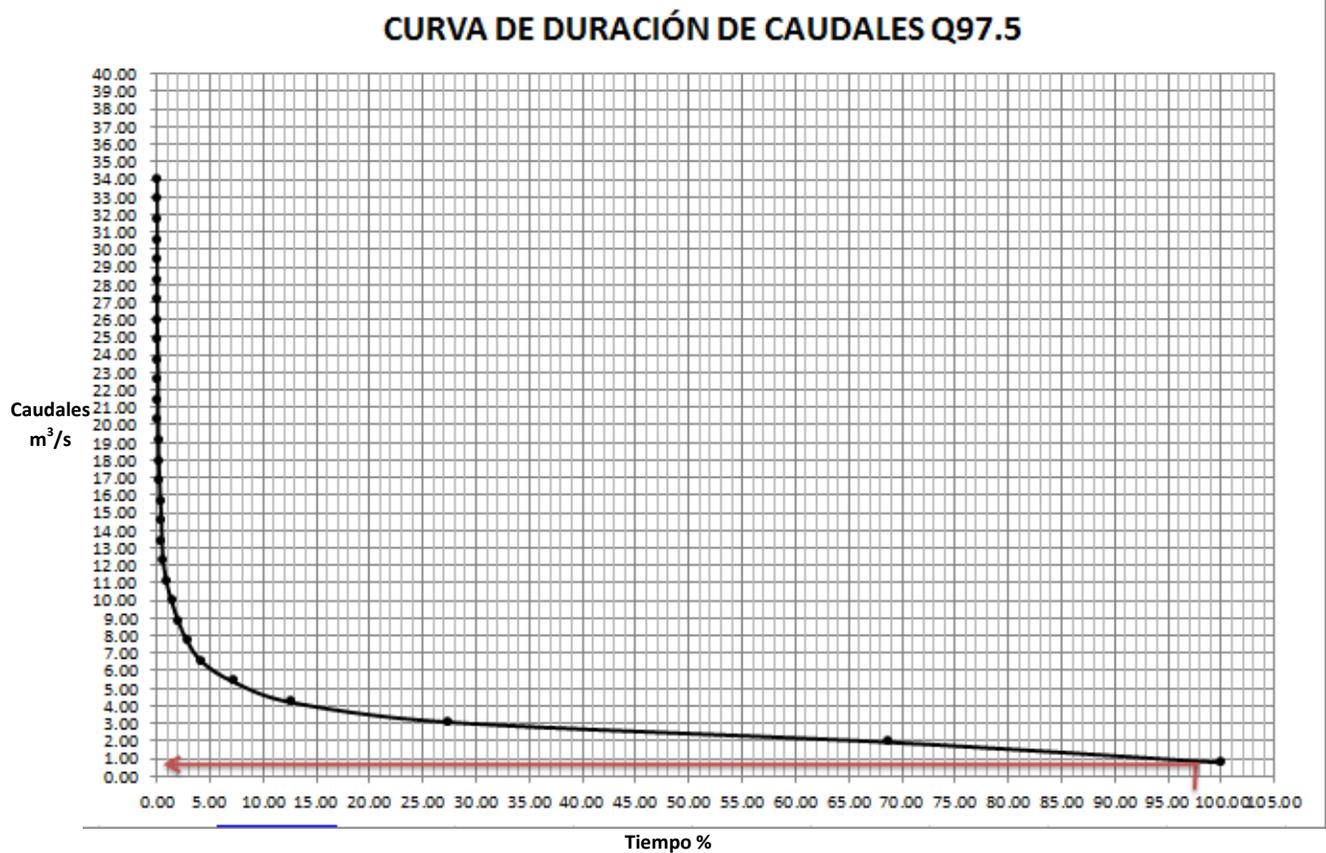


Figura N° 85 Método Q97.5 (Bocatoma EPA) 1995-2004

A partir de la Figura N° 85 se tiene:



Este valor se ajusta al comportamiento normal del tramo y es casi igual al del método 7Q10.

8.1.5.4 Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004)

Este método toma la curva de duración de caudales de toda la serie histórica y obtiene un valor único del Q90.

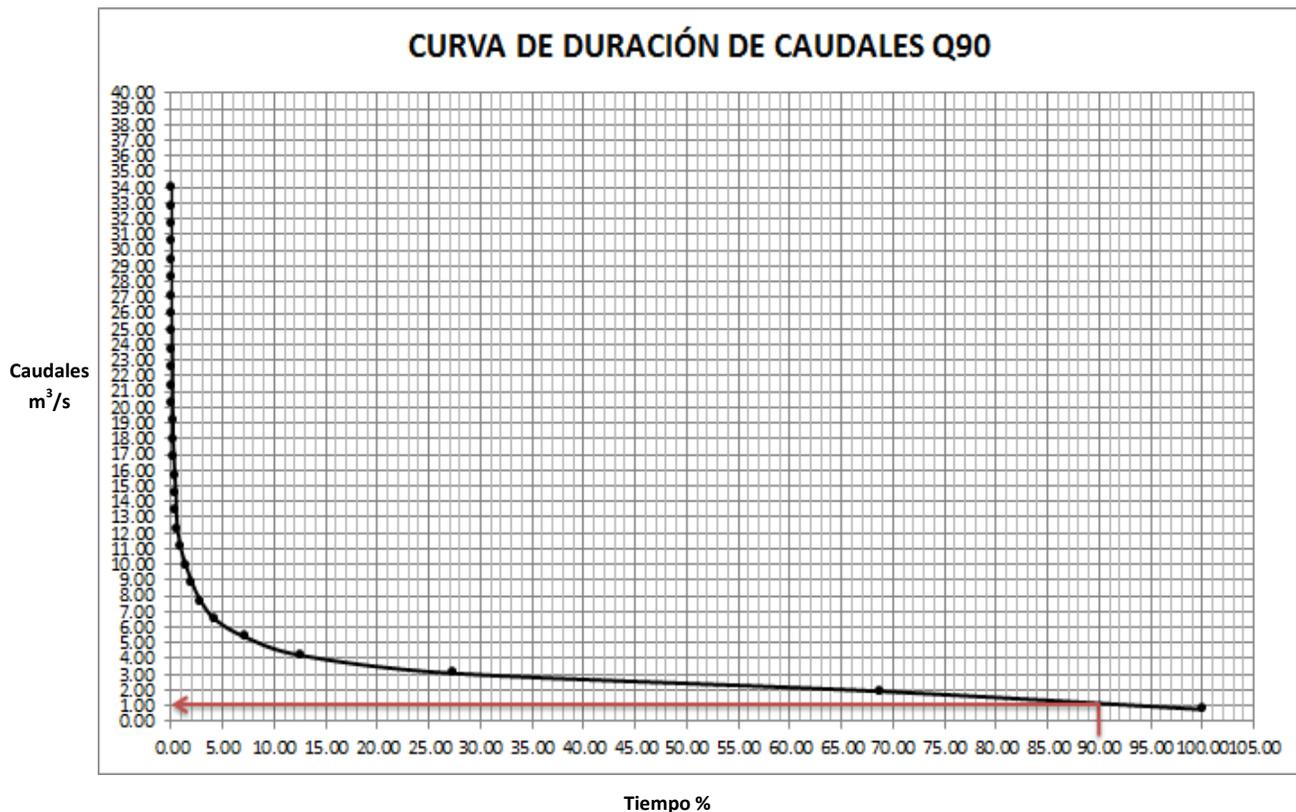


Figura N° 86 Método curva de duración de caudales Q90 (Bocatoma EPA) 1995-2004

A partir de la Figura N° 86 se obtiene el valor del Q90:

**Valor anual del Q90
(m³/s)**

1.000

Como era de esperarse debido al comportamiento normal en la curva de duración de caudales, este valor es algo mayor al del método estudiado anteriormente, al igual que con el método del 7Q10. Este método es un poco más conservador que los mencionados anteriormente, y aunque este se utiliza acá en Colombia, actualmente no tiene la misma relevancia que el método del 7Q10 o el Q95.

8.2 ESTACIÓN PALESTINA BAJA - NAVARCO

Este tramo es fundamental para este estudio porque es allí donde posiblemente se construya el embalse “Multipropósito del Quindío”, generando potencialmente impactos de carácter socioeconómico y ambiental a la región. La estimación de caudales ecológicos es obligatoria para este tramo porque permite a las entidades involucradas en el proyecto del embalse tener una herramienta precisa de decisión en el caso de que se lleve a cabo la construcción de esta estructura hidráulica en dicho sector, y de conocer el caudal ecológico que allí se debe mantener. A continuación se muestra en la Figura N° 87 la serie histórica de caudales a escala diaria y mensual para este punto.

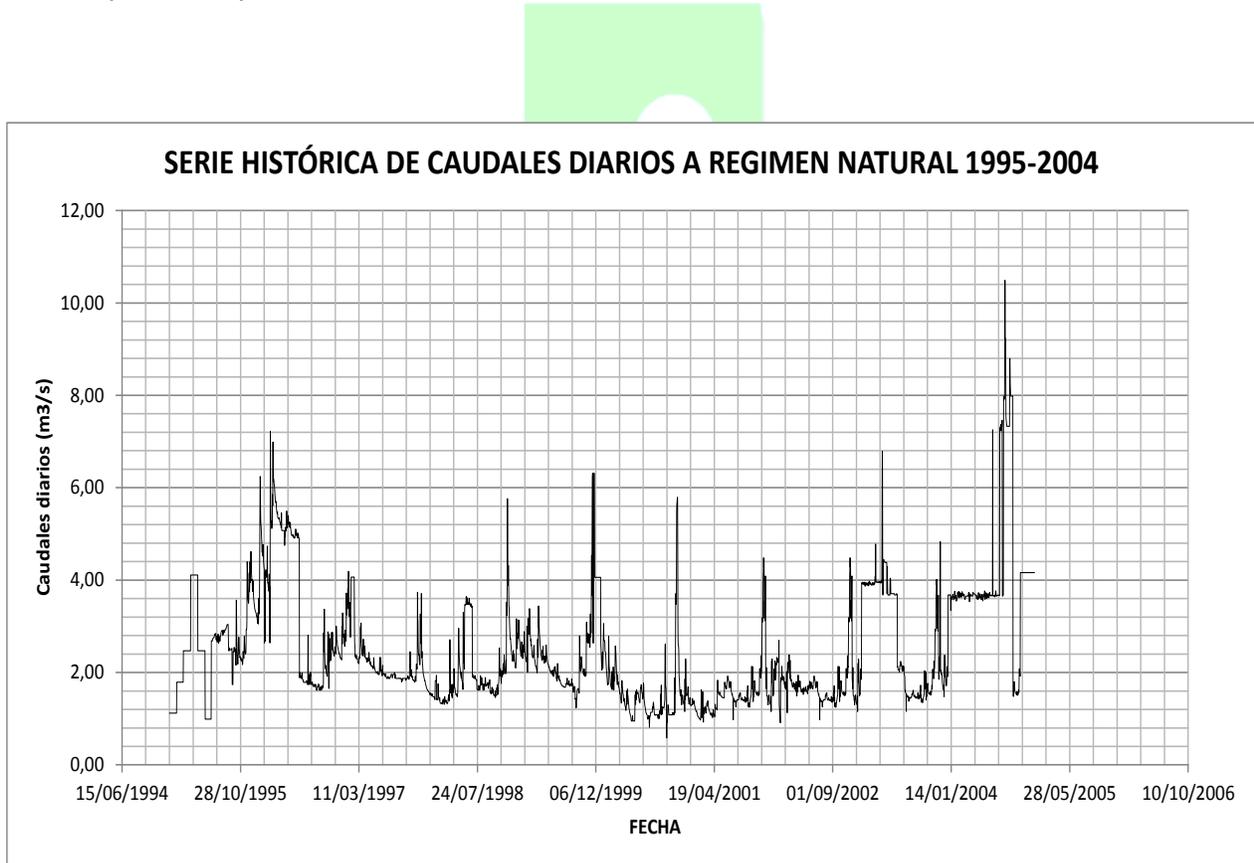


Figura N° 87 Serie histórica de caudales diarios Navarco 1995-2004

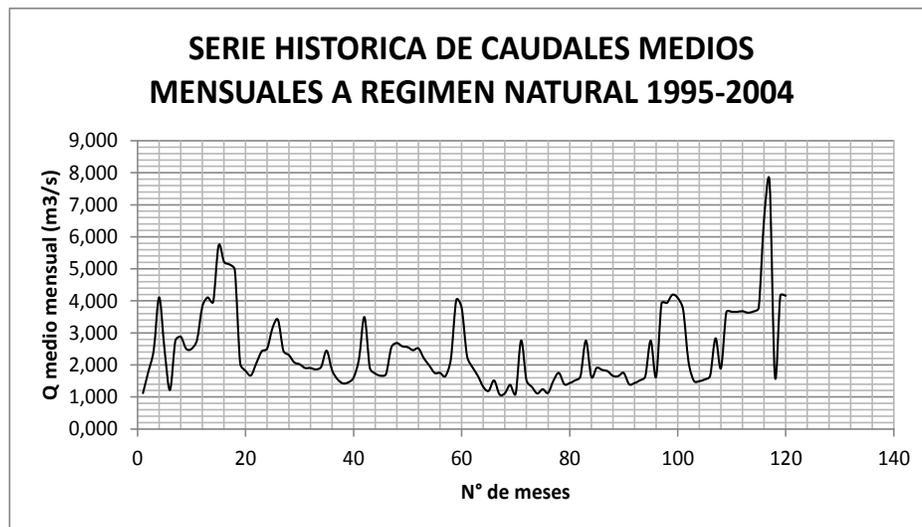


Figura N° 88 Serie histórica de caudales mensuales Navarco 1995-2004

Se puede observar que los caudales de Navarco oscilan entre 1 y 4 m³/s, caudales muy parecidos a los caudales del tramo de Bocatoma EPA. Los caudales mayores a 4 m³/s son muestra de tormentas que se presentaron con periodos de retorno de varios años.

La serie histórica completa en tablas se encuentra en los ANEXOS.

8.2.1 Información preliminar

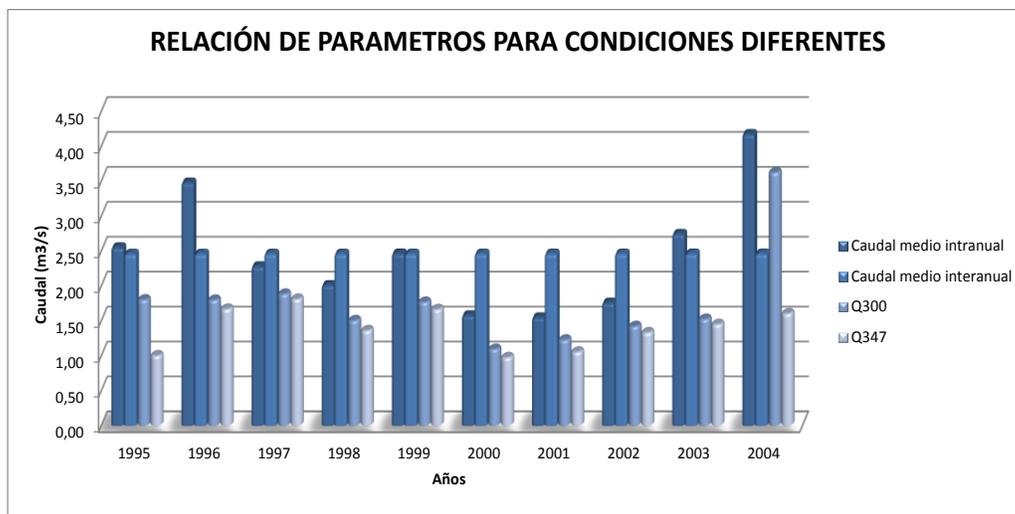


Figura N° 89 Serie histórica de caudales mensuales Navarco 1995-2004

Al igual que en la estación limnigráfica de Bocatoma EPA, en la Figura N° 89 se muestra un resumen de la información procesada con los datos en régimen natural (media intranual e interanual y los valores de Q300 y Q347).

8.2.2 Metodologías a escala mensual

A continuación se aplican las metodologías a escala anual para el punto de Navarco, los resultados y las primeras conclusiones.

8.2.2.1 Método de Texas

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	1.54
Febrero	1.54
Marzo	1.08
Abril	1.11
Mayo	1.03
Junio	1.47
Julio	1.17
Agosto	1.33
Septiembre	0.92
Octubre	0.72
Noviembre	1.18
Diciembre	1.53

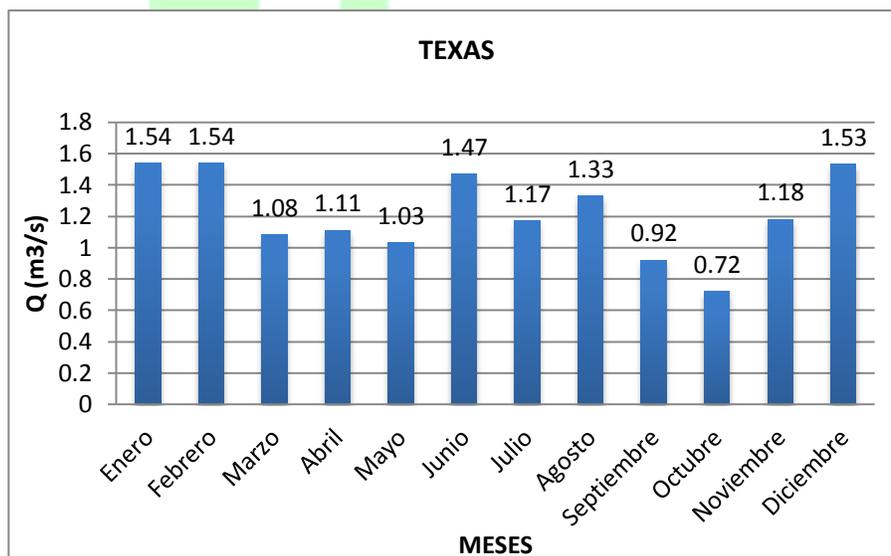


Figura N° 90 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Texas

8.2.2.2 Método de Utah

El método Utah se basa en los caudales mínimos medio a escala mensual de toda la serie histórica, generando un régimen mensual de caudales mínimos.

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	1.12
Febrero	1.11
Marzo	1.24
Abril	1.13
Mayo	1.19
Junio	1.22
Julio	1.08
Agosto	1.12
Septiembre	1.38
Octubre	1.1
Noviembre	2.43
Diciembre	1.52

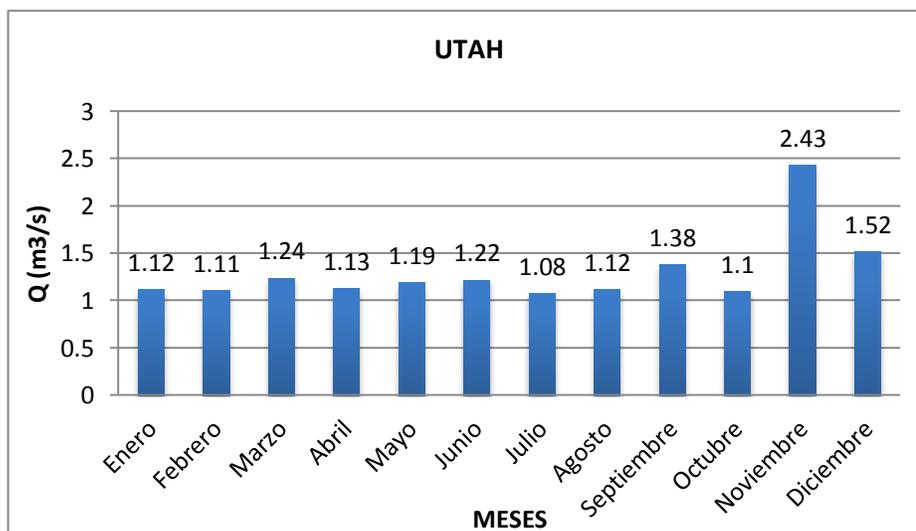


Figura N° 91 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Utah

En la Figura N° 91 se puede apreciar que para el mes de noviembre el caudal ecológico es muy alto a comparación de los otros meses, esto obedece a que noviembre es un mes bastante lluvioso para todos los años de la serie histórica, registrando caudales hasta de 5 m³/s. Se observa un comportamiento muy parecido en todos los meses del año, exceptuando a noviembre por las razones explicadas anteriormente.

8.2.2.3 Método de Programa de Recursos de las Grandes Llanuras del Norte de EE.UU (NGPRP)

Con este método se obtiene un régimen de caudal ecológico que se ajusta casi a la perfección con el comportamiento bimodal de las precipitaciones en la región como lo muestra la Figura N° 92, siendo los meses de mayores lluvias mayo y noviembre demandando un caudal ecológico más alto que los otros meses, y el de menores lluvias agosto, siendo este el de menor valor de caudal ecológico.

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	1.51
Febrero	1.52
Marzo	1.45
Abril	1.18
Mayo	1.95
Junio	1.83
Julio	1.19
Agosto	1.16
Septiembre	1.39
Octubre	1.70
Noviembre	2.13
Diciembre	1.75

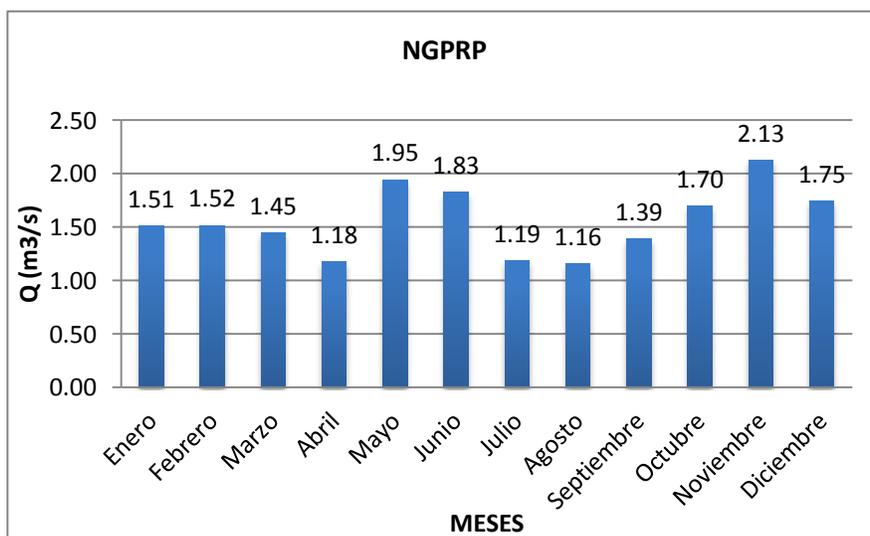


Figura N° 92 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de NGPRP

8.2.2.4 Análisis de la frecuencia de caudales (Flow Duration Curves).

Este método es mucho más conservador que los anteriormente vistos, siendo el valor ecológico más bajo el del mes de octubre con 1.64 m³/s. Se puede observar en la Figura N° 93 que a pesar de manejar caudales tan altos para este tramo, la gráfica trata de tener un comportamiento bimodal, siendo esta una forma de validar la información procesada con el comportamiento real de la UMC.

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	2.34
Febrero	2.34
Marzo	2.55
Abril	2.63
Mayo	2.47
Junio	2.36
Julio	1.88
Agosto	1.88
Septiembre	2.14
Octubre	1.64
Noviembre	2.21
Diciembre	2.36

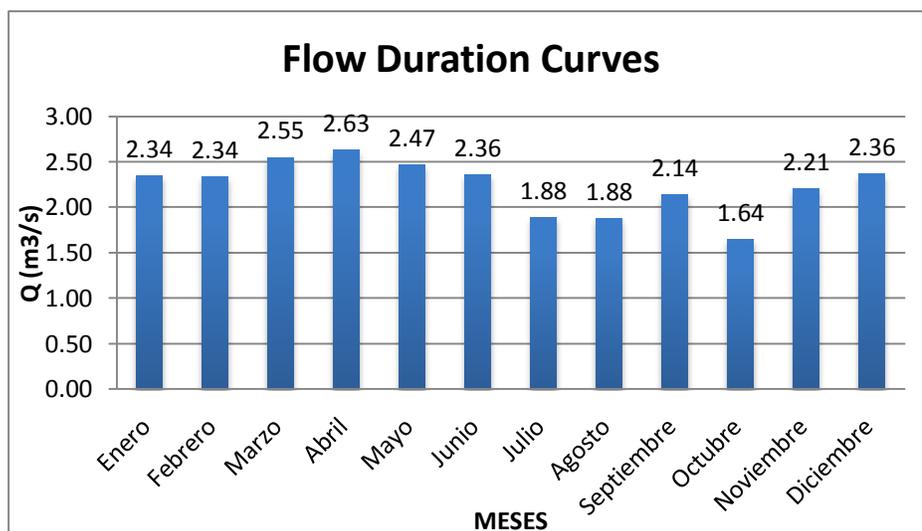


Figura N° 93 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Flow Duration Curves

8.2.2.5 Método Navarro

El método de navarro diferencia los caudales de acuerdo a si son zonas piscícolas de salmónidos o zonas piscícolas de ciprinidos. Para este estudio se toma la zona piscícola de ciprinidos debido a que en los cuerpos de agua de la UMC Río Quindío no hay salmónidos; debido a esto el comportamiento del régimen de caudal ecológico es totalmente lineal como se observa en la Figura N° 94.

Zonas Piscícolas de Ciprinidos	
Enero	0.24
Febrero	0.24
Marzo	0.24
Abril	0.24
Mayo	0.24
Junio	0.24
Julio	0.24
Agosto	0.24
Septiembre	0.24
Octubre	0.24
Noviembre	0.24
Diciembre	0.24

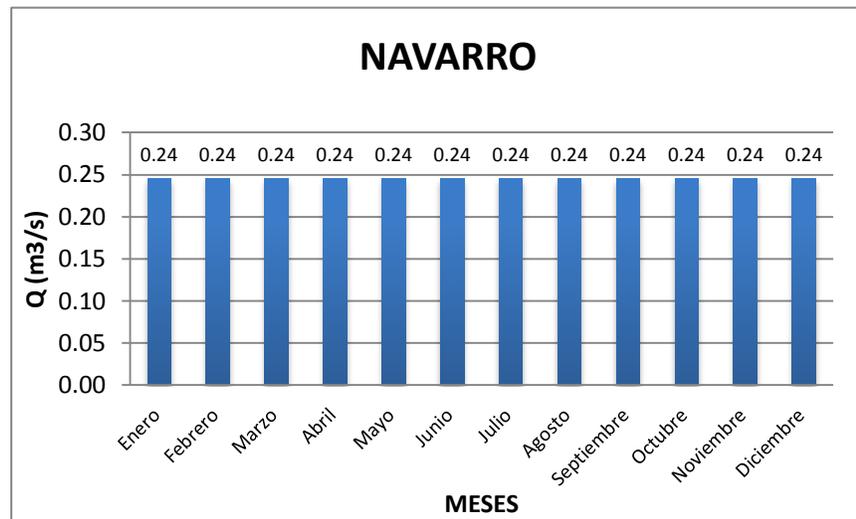


Figura N° 94 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Navarro

8.2.2.6 Método Vasco

Este método depende del orden del cauce. A partir de la Figura N° 95 se puede concluir que es un método que no exige mucho de caudal ecológico, es uno de los métodos con menor régimen de caudales.



Regimen de Caudal Ecológico mínimo	
Enero	0.71
Febrero	0.72
Marzo	0.75
Abril	0.76
Mayo	0.73
Junio	0.68
Julio	0.56
Agosto	0.59
Septiembre	0.60
Octubre	0.53
Noviembre	0.83
Diciembre	0.74

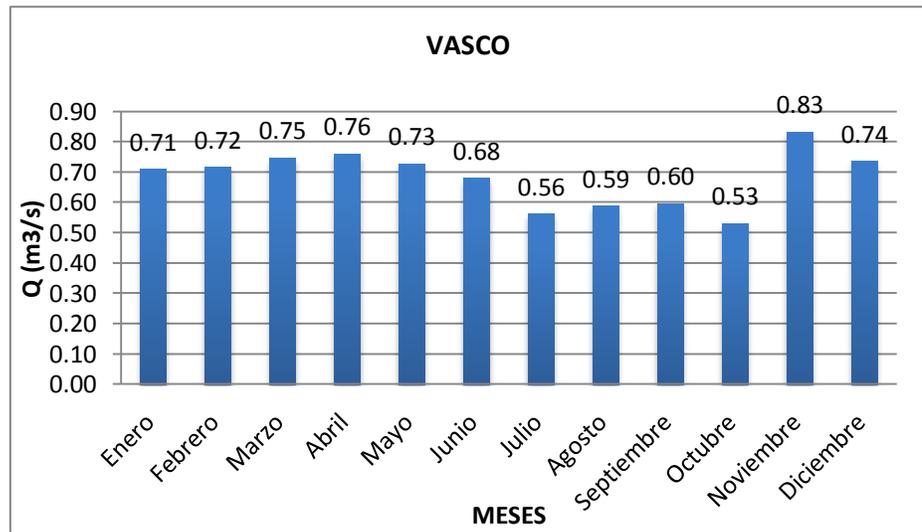


Figura N° 95 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Vasco

8.2.2.7 Método de Tessman

Regimen de Caudal mensual Adoptado	
Enero	1.19
Febrero	1.19
Marzo	1.23
Abril	1.27
Mayo	1.19
Junio	1.17
Julio	1.05
Agosto	1.16
Septiembre	1.19
Octubre	0.98
Noviembre	1.18
Diciembre	1.17

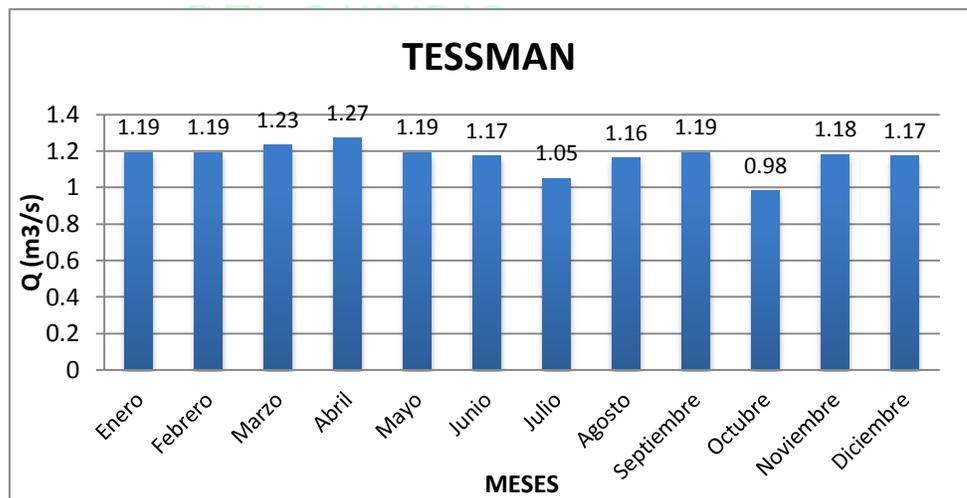


Figura N° 96 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método Tessman

El método de Tessman tiene un comportamiento mucho más irregular que los otros métodos debido a que se basa en porcentajes que dependen de una serie de variables hidráulicas que simulan el buen estado del hábitat en el sitio. Aunque los valores son muy parecidos a los demás regimenes de caudales ecológicos obtenidos con anterioridad, estos no poseen un comportamiento bimodal.

8.2.2.8 Método del Q95 (Aplicado en Colombia)

Para el desarrollo de este método es necesario obtener la curva de duración de caudales para cada uno de los meses pertenecientes a la serie histórica de 10 años, con el fin de obtener un Q95 mensual para así generar el régimen de estos.

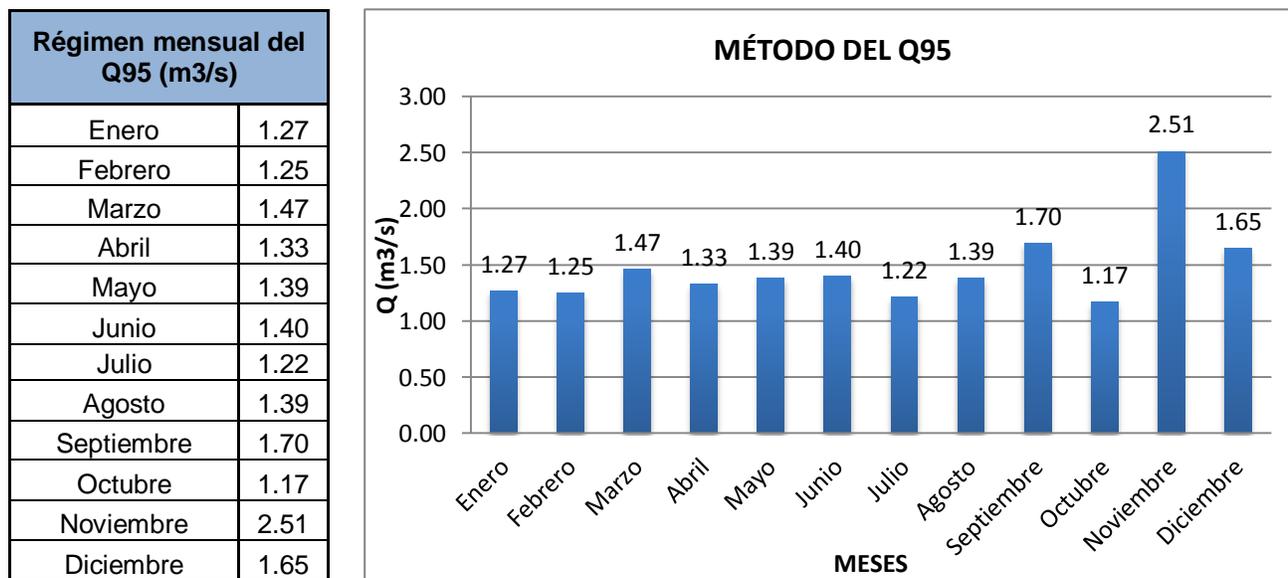


Figura N° 97 Régimen adoptado de caudales mensuales Navarco – Método de Q95

Se puede apreciar en la Figura N° 97 que el método del Q95 es un método muy conservador que genera caudales ecológicos bastante grandes para cualquier tramo y condición hidrológica, esto es importante tenerlo en cuenta ya que es este uno de los métodos que aplicaran en Colombia con el nuevo proyecto de resolución y es este punto donde estará el posible embalse.

8.2.2.9 Resumen y conclusiones



A continuación se muestra la tabla resumen (Tabla N° 44) con las metodologías a escala mensual y el gráfico comparativo (Figura N° 98) que muestra la diferencia entre estas, así como el promedio mensual multianual que genera un régimen promedio de todas las metodologías.

Meses	Promedio mensual multianual
Enero	1.24
Febrero	1.24
Marzo	1.25
Abril	1.21
Mayo	1.27
Junio	1.30
Julio	1.05
Agosto	1.11
Septiembre	1.20
Octubre	1.01
Noviembre	1.59
Diciembre	1.37

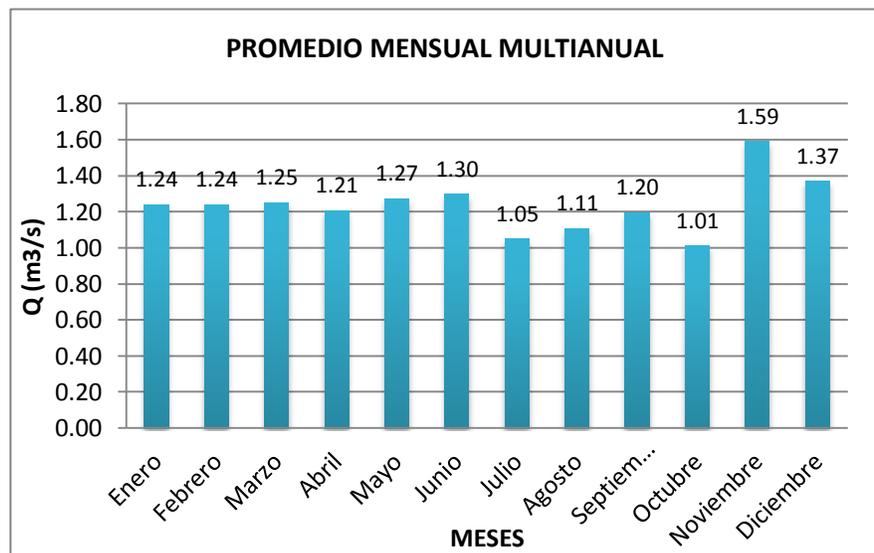


Figura N° 98 Promedio mensual multianual Navarcho

En este promedio mensual multianual se observa un rango de caudales ecológicos entre 1.07 y 1.51 m³/s, caudales que sobre el papel son algo altos teniendo en cuenta que la disponibilidad de agua en el Río Navarcho oscila entre 1 y 4 m³/s.



COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGÍAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	1.54	1.54	1.08	1.11	1.03	1.47	1.17	1.33	0.92	0.72	1.18	1.53
Utah	1.12	1.11	1.24	1.13	1.19	1.22	1.08	1.12	1.38	1.10	2.43	1.52
NGPRP	1.51	1.52	1.45	1.18	1.95	1.83	1.19	1.16	1.39	1.70	2.13	1.75
AFC	2.34	2.34	2.55	2.63	2.47	2.36	1.88	1.88	2.14	1.64	2.21	2.36
Navarro	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
Vasco	0.71	0.72	0.75	0.76	0.73	0.68	0.56	0.59	0.60	0.53	0.83	0.74
Tessman	1.19	1.19	1.23	1.27	1.19	1.17	1.05	1.16	1.19	0.98	1.18	1.17
Q95	1.27	1.25	1.47	1.33	1.39	1.40	1.22	1.39	1.70	1.17	2.51	1.65

Tabla N° 44. Comparación de metodologías a escala mensual Navarro

UNIVERSIDAD
DEL QUINDIO



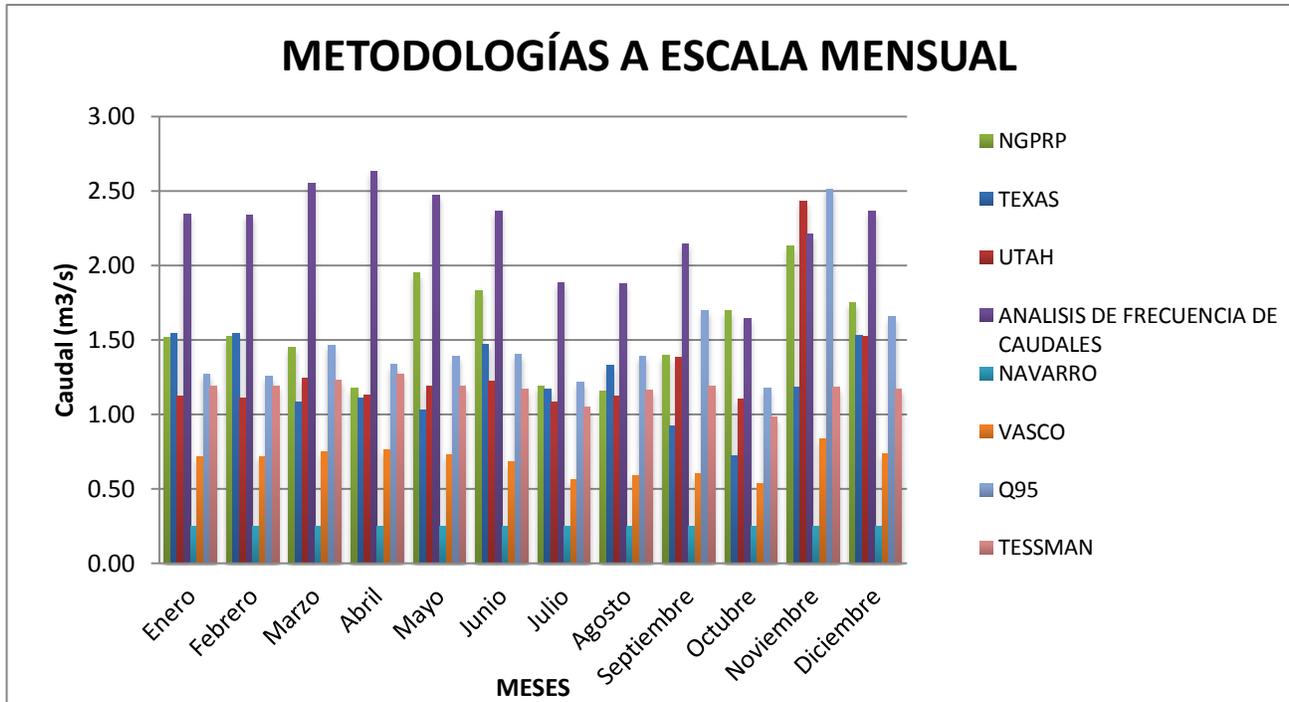


Figura N° 99 Comparación de metodologías a escala mensual Navarro

Claramente se puede observar en la Figura N° 99 como los métodos Q95, Análisis de frecuencia de caudales y NGPRP son los métodos más conservadores de los trabajados a escala mensual, siendo el Q95 el más importante de todo el análisis. Se puede concluir que los métodos Vasco y Navarro son demasiado flexibles generando aparentemente una incertidumbre sobre si el cuerpo de agua en estudio lograría mantener las condiciones físicas necesarias para el mantenimiento del hábitat en la UMC río Quindío.

El método NGPRP genera valores muy altos teniendo en cuenta que dicho método fue concebido para las grandes llanuras de USA, caso contrario al que se presenta en la región y más precisamente en la UMC Río Quindío.

Para un análisis más preciso de la información obtenida en este tramo a continuación se muestra en la

Figura N° 100 y Figura N° 101 el análisis de las diferentes metodologías en los doce (12) meses del año, generando un comportamiento particular para cada mes.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

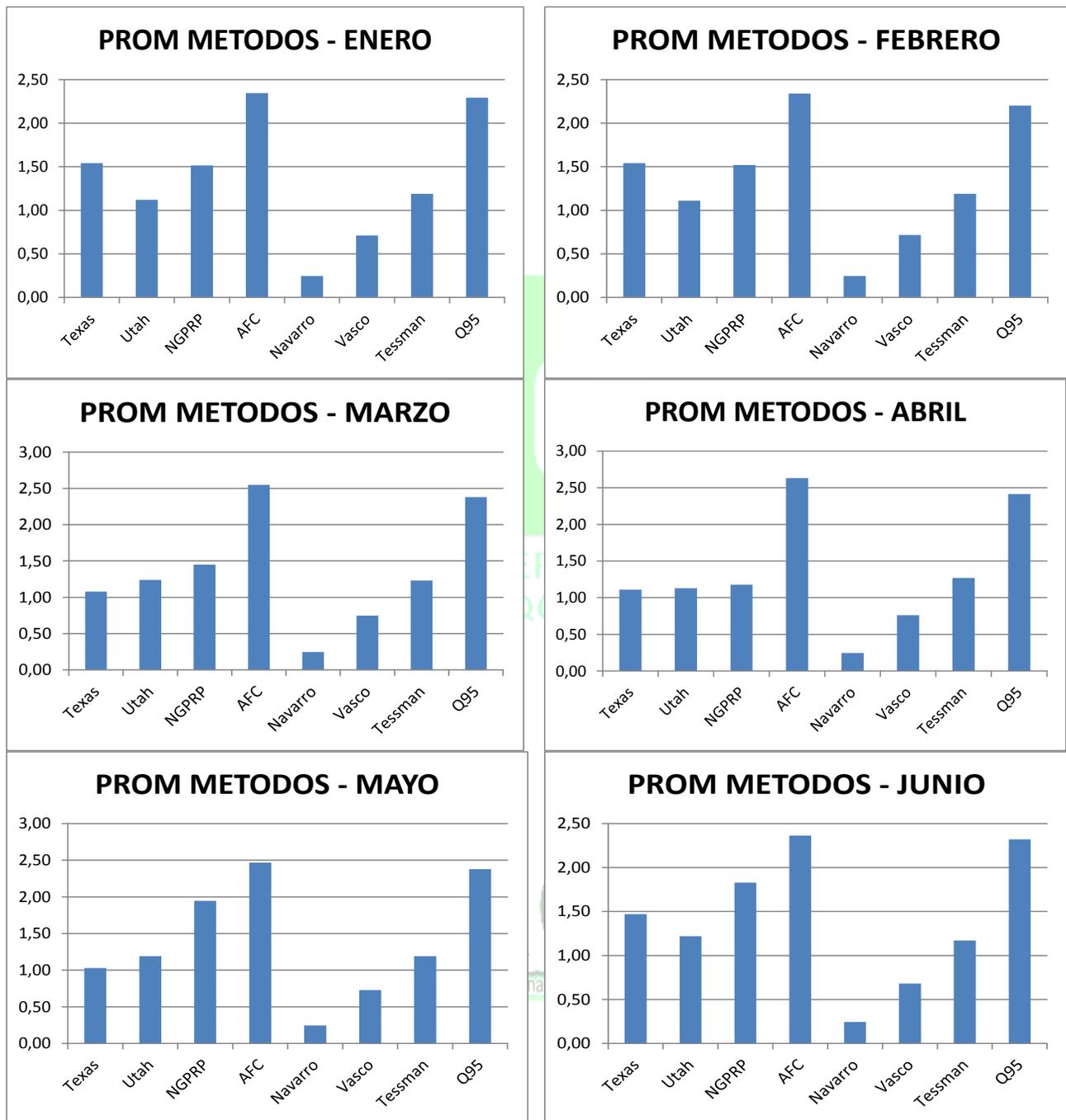


Figura N° 100 Comportamiento de las metodologías en cada mes (Navarro) (1)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

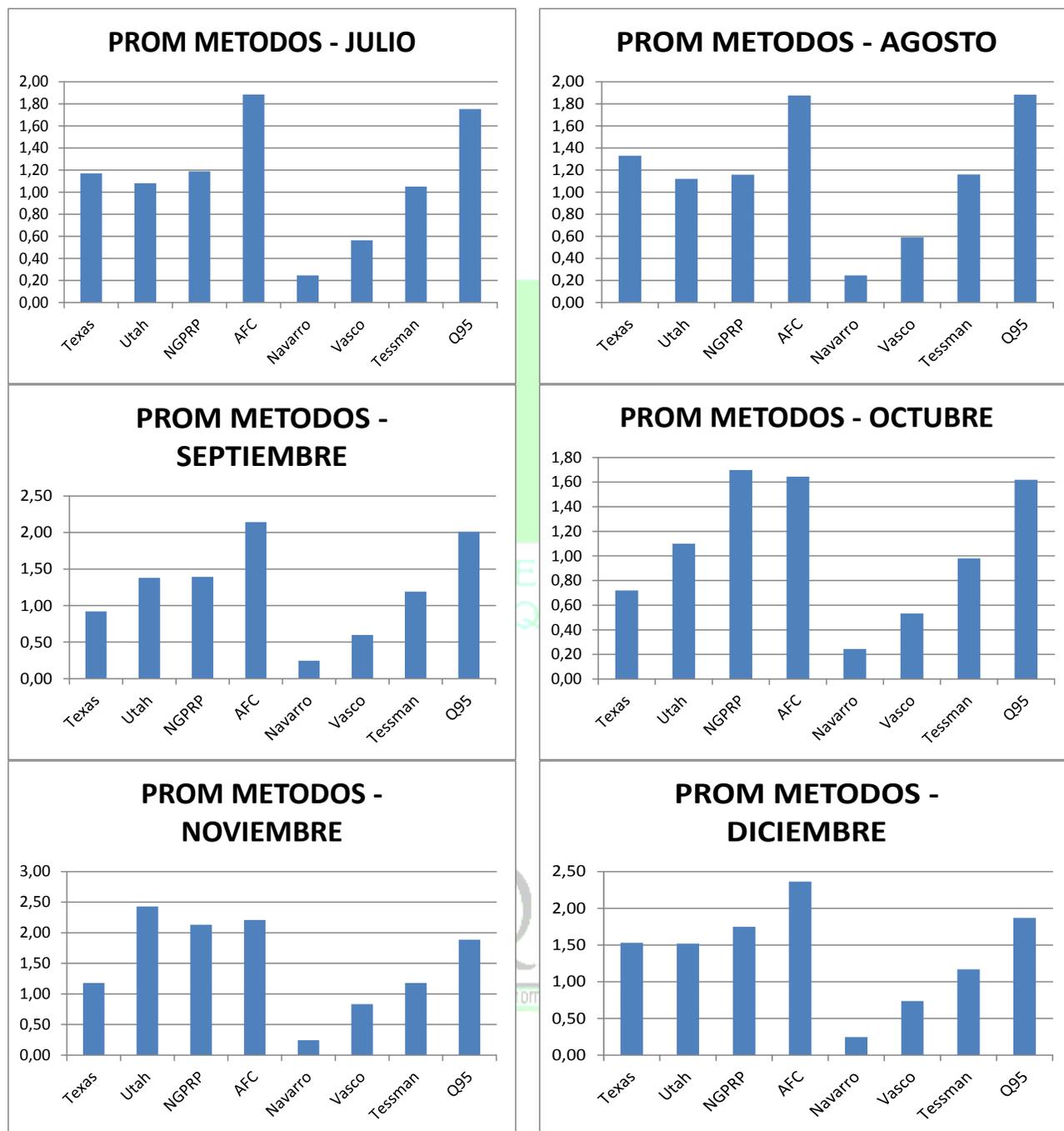


Figura N° 101 Comportamiento de las metodologías en cada mes (Navarco) (2)

Para los meses de julio, agosto y octubre se tienen los caudales ecológicos más bajos de la serie, caso contrario sucede con marzo, abril mayo y noviembre, los cuales registran los caudales ecológicos demandados más altos del análisis. Es de resaltar que en este caso el método NGPRP no posee caudales tan altos a lo largo de los meses, caso que si se ve con el Q95 y con el Análisis de frecuencia de caudales.

8.2.3 Metodologías a escala anual

Las metodologías a escala anual son hidrológicas en su totalidad y se basan en la conservación de las especies que habitan los cuerpos de agua, exceptuando al DGOH el cual es un porcentaje puntual para cada año siguiendo consideraciones Españolas.

8.2.3.1 Método de Matthey

El método de Matthey se basa en tres (3) formulas diferentes que tienen en cuenta el Q300 y el Q347, sabiendo que dichos caudales serán superados por un gran porcentaje de caudales al año. Dicha metodología profundiza más en las formulas obtenidas a partir del Q347, ya que estas tienen en cuenta caudales más bajos que el Q300.

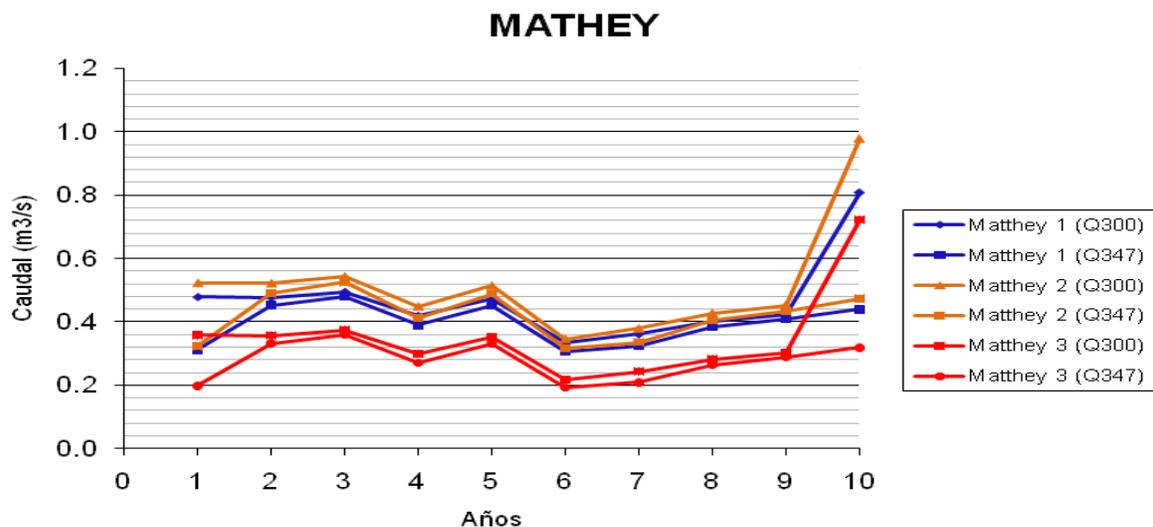


Figura N° 102 Metodologías a escala anual (Navarco) – Método de Matthey

Matthey					
(1)		(2)		(3)	
Qmin ₃₀₀ (m3/s)	Qmin ₃₄₇ (m3/s)	Qmin ₃₀₀ (m3/s)	Qmin ₃₄₇ (m3/s)	Qmin ₃₀₀ (m3/s)	Qmin ₃₄₇ (m3/s)
0.48	0.31	0.52	0.32	0.36	0.20
0.48	0.45	0.52	0.49	0.36	0.33
0.49	0.48	0.54	0.53	0.37	0.36
0.42	0.39	0.45	0.41	0.30	0.27
0.47	0.45	0.51	0.49	0.35	0.33
0.33	0.31	0.35	0.32	0.22	0.19
0.36	0.32	0.38	0.34	0.24	0.21
0.40	0.38	0.43	0.41	0.28	0.26
0.42	0.41	0.45	0.43	0.30	0.29
0.81	0.44	0.98	0.47	0.72	0.32

Tabla N° 45. Metodologías a escala anual (Navarco) - Método de Matthey

Está claro que los valores obtenidos con las ecuaciones que involucran al Q300 son mucho más conservadores que las otras debido a que no tienen en cuenta a los caudales más bajos clasificados anualmente. También se observa que la primera ecuación es más conservadora que las otras y que en el año 2004 se tienen los caudales más altos para las tres (3) ecuaciones desarrolladas.

8.2.3.2 Método de la Dirección General de Obras Hidráulicas de España (DGOH)

Este método se basa en un porcentaje dado por la DGOH para cada año de la serie histórica.

DGOH España Q10%	
1995	0.25
1996	0.35
1997	0.23
1998	0.20
1999	0.25
2000	0.16
2001	0.15
2002	0.17
2003	0.27
2004	0.42

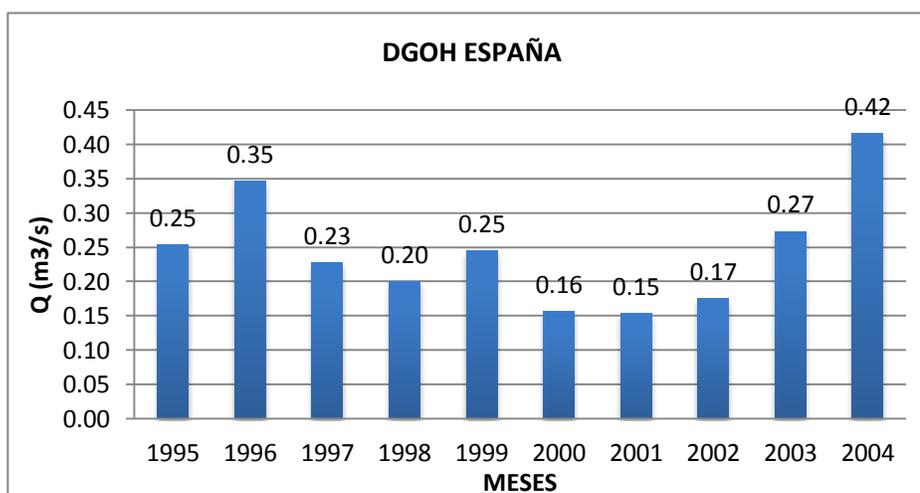


Figura N° 103 Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de DGOH

8.2.3.3. Método Suizo

Este método diferencia las aguas piscícolas de las no piscícolas, determinando según la clasificación una serie de ecuaciones que dependen de las características hidrológicas del año y del Q347, permiten obtener el caudal ecológico. Para este caso se trabaja con aguas piscícolas.

Aguas Piscícolas	
1995	0.13
1996	0.28
1997	0.13
1998	0.13
1999	0.13
2000	0.13
2001	0.13
2002	0.13
2003	0.13
2004	0.28

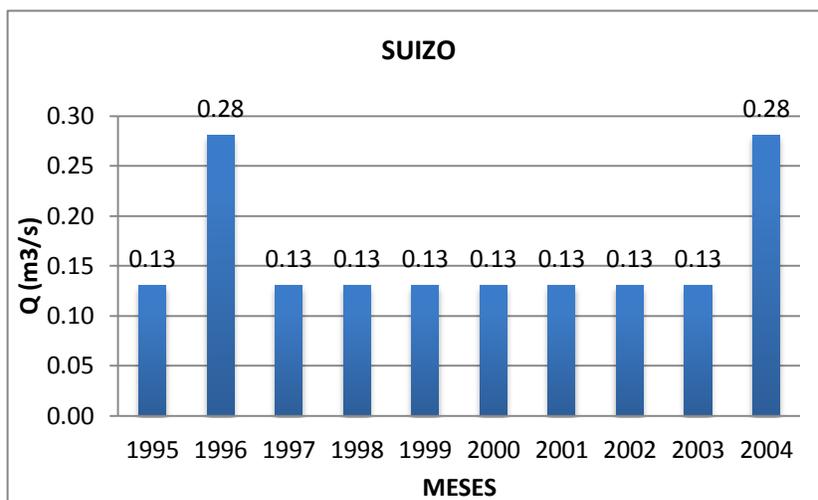


Figura N° 104 Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de Suizo

Se observa claramente en la Figura N° 104 cómo según las características del año los valores toman formas diferentes, este es el caso con los años 1996 y 2004, los cuales por tener un Q347 más elevado a los demás años toma otro valor mucho más conservador.

Este método es el más flexible de todos los utilizados, por lo tanto no beneficia a la UMC en cuanto a mantenimiento y mejoramiento de las condiciones físicas del río y las especies que allí habitan.

8.2.3.4 Método Asturiano

Este método diferencia tres niveles de protección: las ecuaciones utilizadas en el método Suizo para el primer nivel e incrementos en el caudal para los otros dos niveles según el área aprovechada de la UMC. Los resultados se muestran en la Figura N° 105 y la Tabla N° 46.

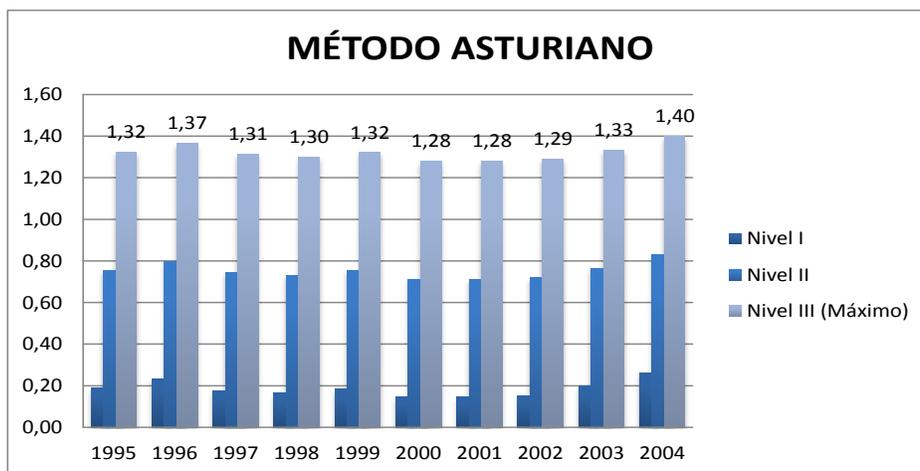


Figura N° 105 Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Asturiano

Asturiano			
Año	Nivel de Protección Base I	Nivel de Protección Medio II	Nivel de Protección Máximo III
	Qmin (m3/s)	Qmin (m3/s)	Qmin (m3/s)
1995	0.19	0.76	1.32
1996	0.23	0.80	1.37
1997	0.18	0.74	1.31
1998	0.16	0.73	1.30
1999	0.19	0.75	1.32
2000	0.15	0.71	1.28
2001	0.14	0.71	1.28
2002	0.15	0.72	1.29
2003	0.20	0.77	1.33
2004	0.26	0.83	1.40

Tabla N° 46. Régimen adoptado de caudales anuales (Navarco) – Método de Asturiano

El nivel de protección III es demasiado conservador si se miran las demás metodologías a escala anual, y hace parte de la media de metodologías a escala mensual, lo que evidencia que este método es muy flexible y solo en momentos críticos llegan a mostrar una protección de la UMC aceptable.

8.1.3.5 Resumen y conclusiones

A continuación se muestra en la Figura N° 106 y en la Tabla N° 47, así como el promedio multianual de las metodologías y la caracterización por años de estas.

Meses	Promedio anual
1995	0.42
1996	0.54
1997	0.51
1998	0.45
1999	0.49
2000	0.40
2001	0.41
2002	0.44
2003	0.48
2004	0.55

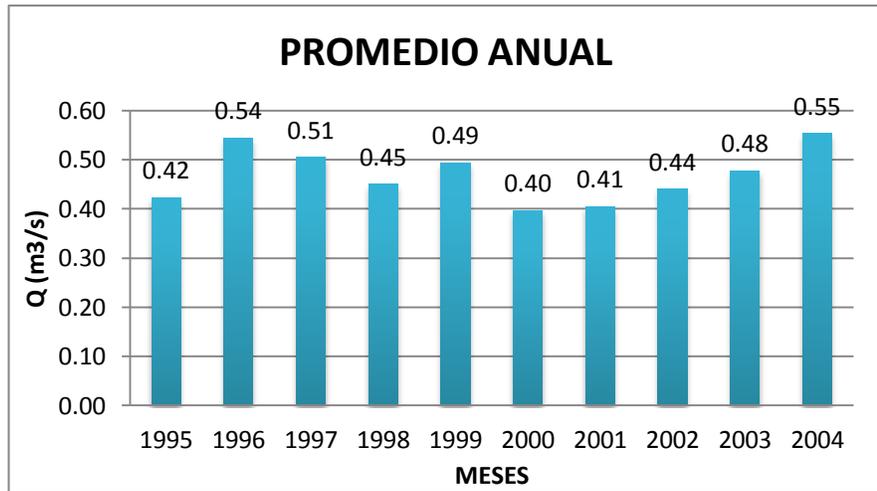


Figura N° 106 Promedio multianual (Navarco) 1995 - 2004



TABLA COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.31	0.45	0.48	0.39	0.45	0.31	0.32	0.38	0.41	0.44
Matthey 2 (Q347)	0.32	0.49	0.53	0.41	0.49	0.32	0.34	0.41	0.43	0.47
Matthey 3 (Q347)	0.20	0.33	0.36	0.27	0.33	0.19	0.21	0.26	0.29	0.32
DGOH España	0.25	0.35	0.23	0.20	0.25	0.16	0.15	0.17	0.27	0.42
Suizo	0.13	0.28	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.28
Asturiano	1.32	1.37	1.31	1.30	1.32	1.28	1.28	1.29	1.33	1.40

Tabla N° 47. Comparación de metodologías a escala anual (Navarco) 1995 - 2004



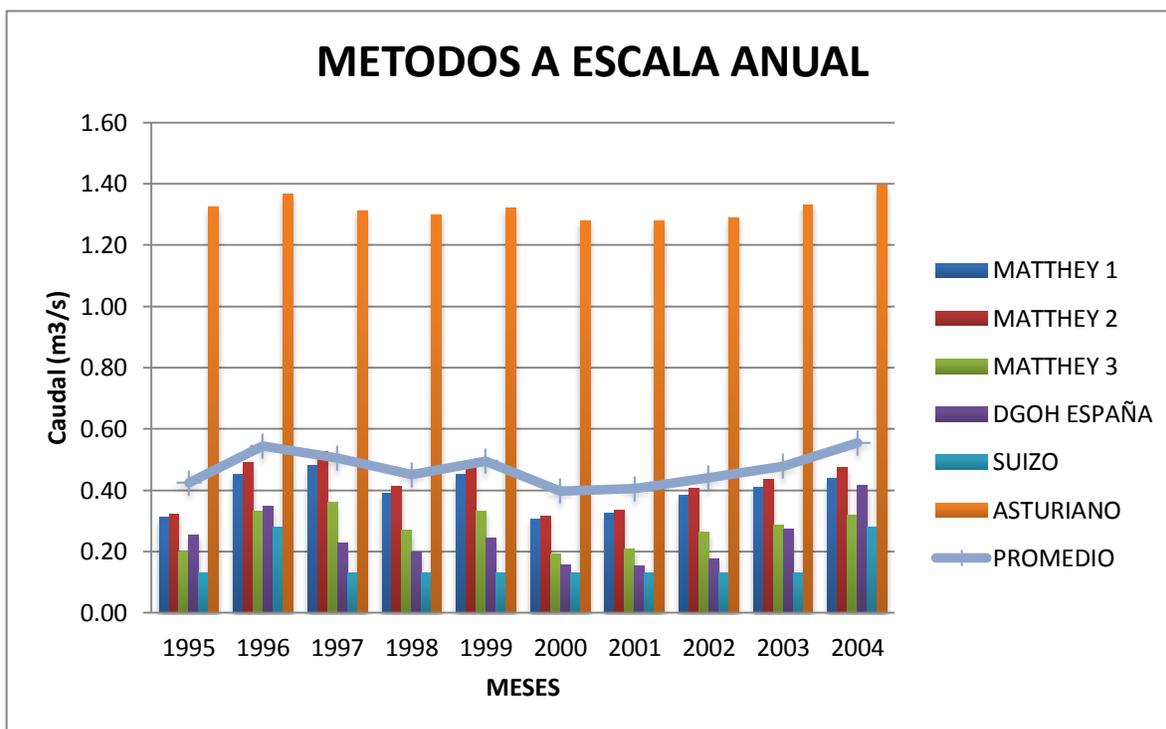


Figura N° 107 Comparación de metodologías a escala anual (Navarco) 1995 -2004

Es importante la diferencia que hay entre el método Asturiano y los demás métodos, lo que ratifica lo dicho anteriormente sobre la flexibilidad de estos y el punto crítico al que debe llegar el método Asturiano para obtener caudales más conservadores que protejan el río.

A continuación se muestra en la Figura N° 108 y Figura N° 109 la comparación de los métodos para cada año.



ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC
RÍO QUINDÍO

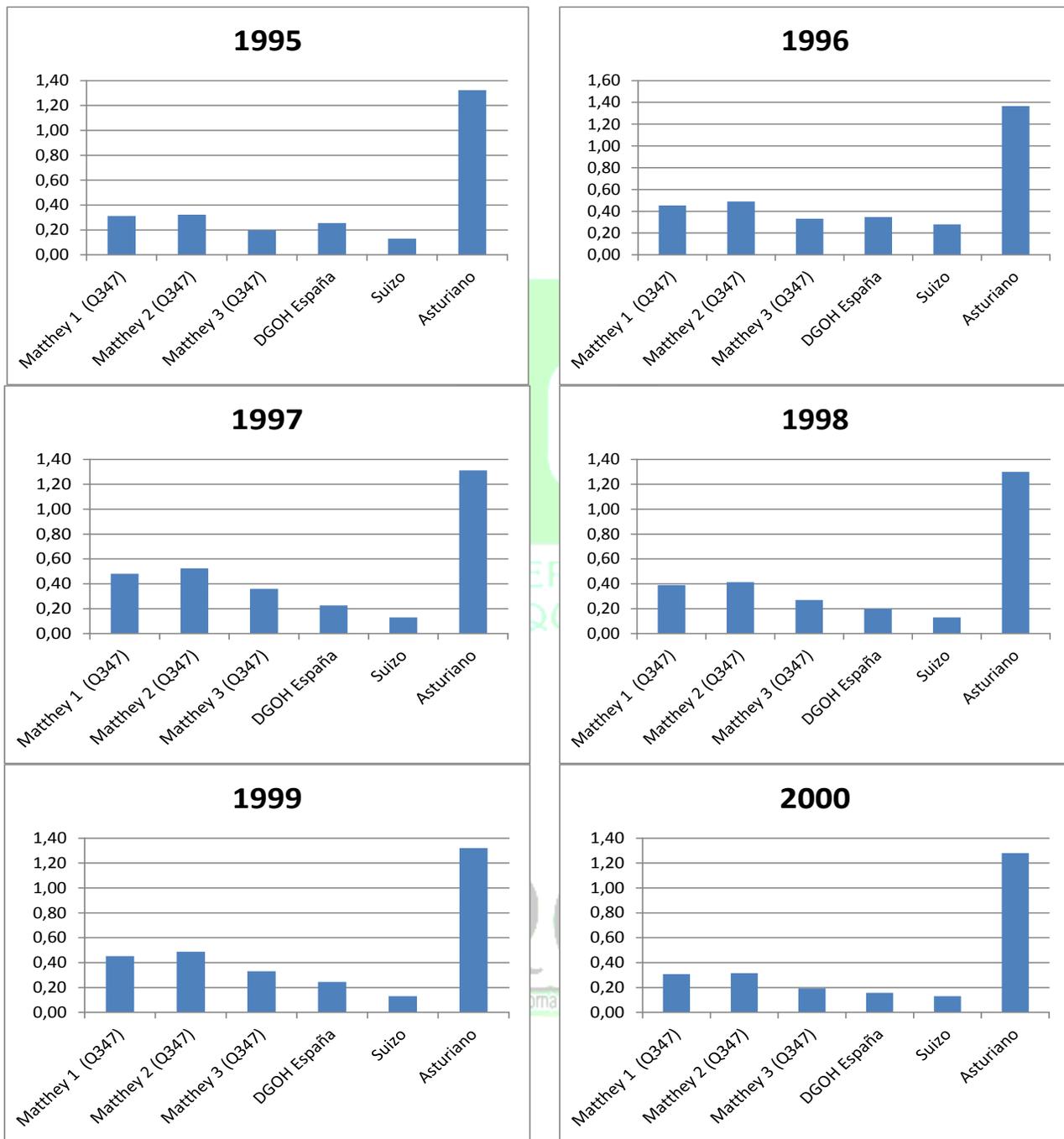


Figura N° 108 Comportamiento de las metodologías en cada año (Navarco) 1995 – 2004 (1)

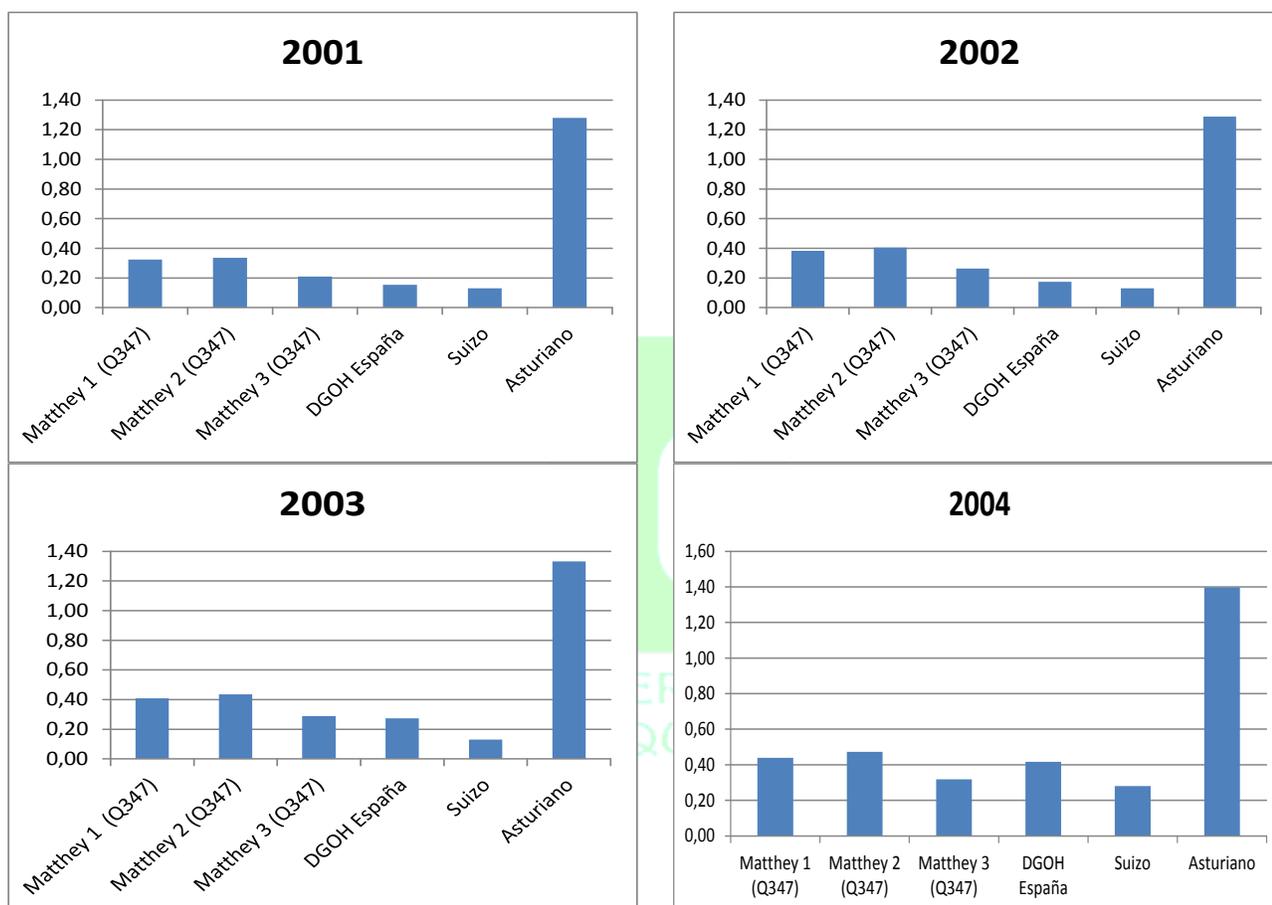
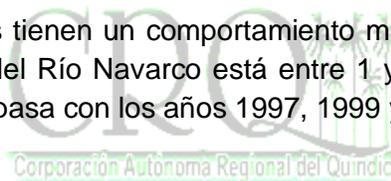


Figura N° 109 Comportamiento de las metodologías en cada año (Navarco) 1995 – 2004 (2)

En general todas las metodologías tienen un comportamiento muy similar con caudales muy bajos teniendo en cuenta que la oferta del Río Navarco está entre 1 y 4 m³/s. Los años más secos son 1995, 2000 y 2001, caso contrario pasa con los años 1997, 1999 y 2004.



8.2.4 Metodología sin escala temporal

Esta metodología no obedece a una escala temporal periódica sino a un valor puntual que se ajusta a las características del método.

8.2.4.1 Método de Hoppe

Este método tiene en cuenta tanto consideraciones hidrológicas como la favorabilidad de las especies en los cuerpos de agua, y divide en tres características principales obteniendo para cada una de ellas los caudales ecológicos correspondientes como lo muestra la Tabla N° 48.

Producción de alimento y cobertura	Desove	Flujo de Avenida
3,654	1,790	1,454

Tabla N° 48. Método a escala especial (Navarco) – Método de Hoppe

8.2.5 Metodologías aplicadas en Colombia

Algunas metodologías a continuación mencionadas fueron aplicadas en Colombia a mediados de la década del 2000 y otras están contempladas en el proyecto de resolución propuesto para estimar caudales ecológicos en las cuencas del país.

8.2.5.1 Método del 7Q10

La metodología aplicada es la misma que se describió para la estación limnigráfica de Bocatoma EPA a partir de un análisis de frecuencia. Dicha metodología está plasmada en la Tabla N° 49 y la Figura N° 110.

ANÁLISIS DE FRECUENCIA			
Posición m	Año	7Q Mínimo	Tr
1	2000	0.95	11.00
2	1995	0.990	5.50
3	2001	0.993	3.67
4	2002	1.21	2.75
5	1998	1.33	2.20
6	1999	1.35	1.83
7	2003	1.38	1.57
8	2004	1.53	1.38
9	1997	1.55	1.22
10	1996	1.63	1.10

Tabla N° 49. Análisis de frecuencias (Navarco) – Método del 7Q10

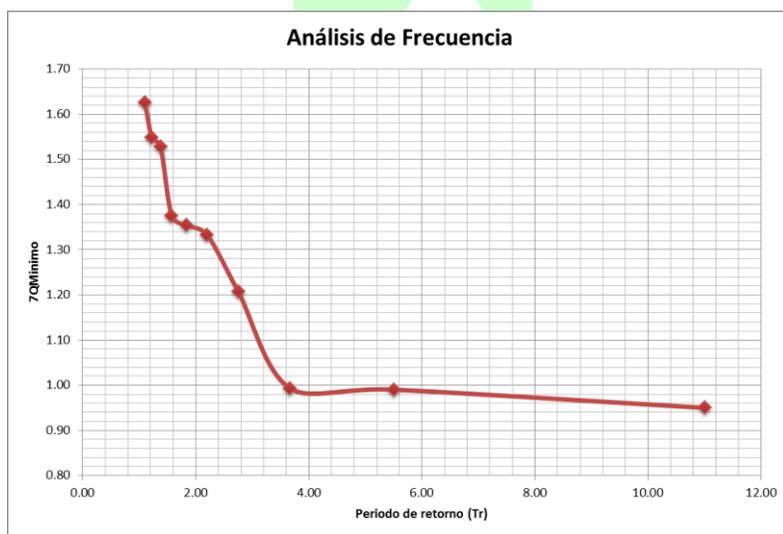


Figura N° 110 Análisis de frecuencias Método del 7Q10 (Navarco) 1995-2004

Por lo tanto:

Valor de 7Q10 (m³/s)
0.958

Este valor es muy parecido al obtenido en la bocatoma EPA, debido a que las series históricas y el caudal que pasa por los dos (2) puntos es muy similar. Es importante tener en cuenta este caudal para estudios futuros en el tramo más precisamente con el proyecto que está en discusión sobre el embalse “Multipósito del Quindío”.

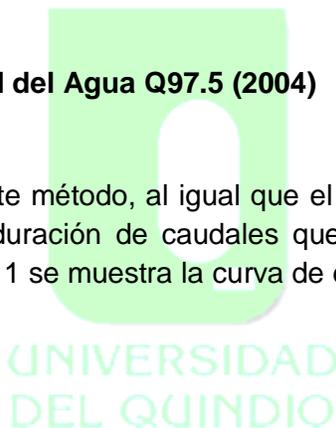
8.2.5.2 Método del IDEAM (2004)

Dicho método toma un valor puntual sobre un porcentaje del 75% sobre las medias mensuales de la serie histórica.

Descuento del 75% Qmin (m³/s)
0.453

8.2.5.3 Método del Estudio Nacional del Agua Q97.5 (2004)

Como anteriormente se menciona, este método, al igual que el método del Q90 se obtiene a partir de la elaboración de una curva de duración de caudales que permita obtener cada uno de los puntos en mención. En la Figura N° 111 se muestra la curva de duración de caudales y el respectivo valor del Q97.5 para Navarco.



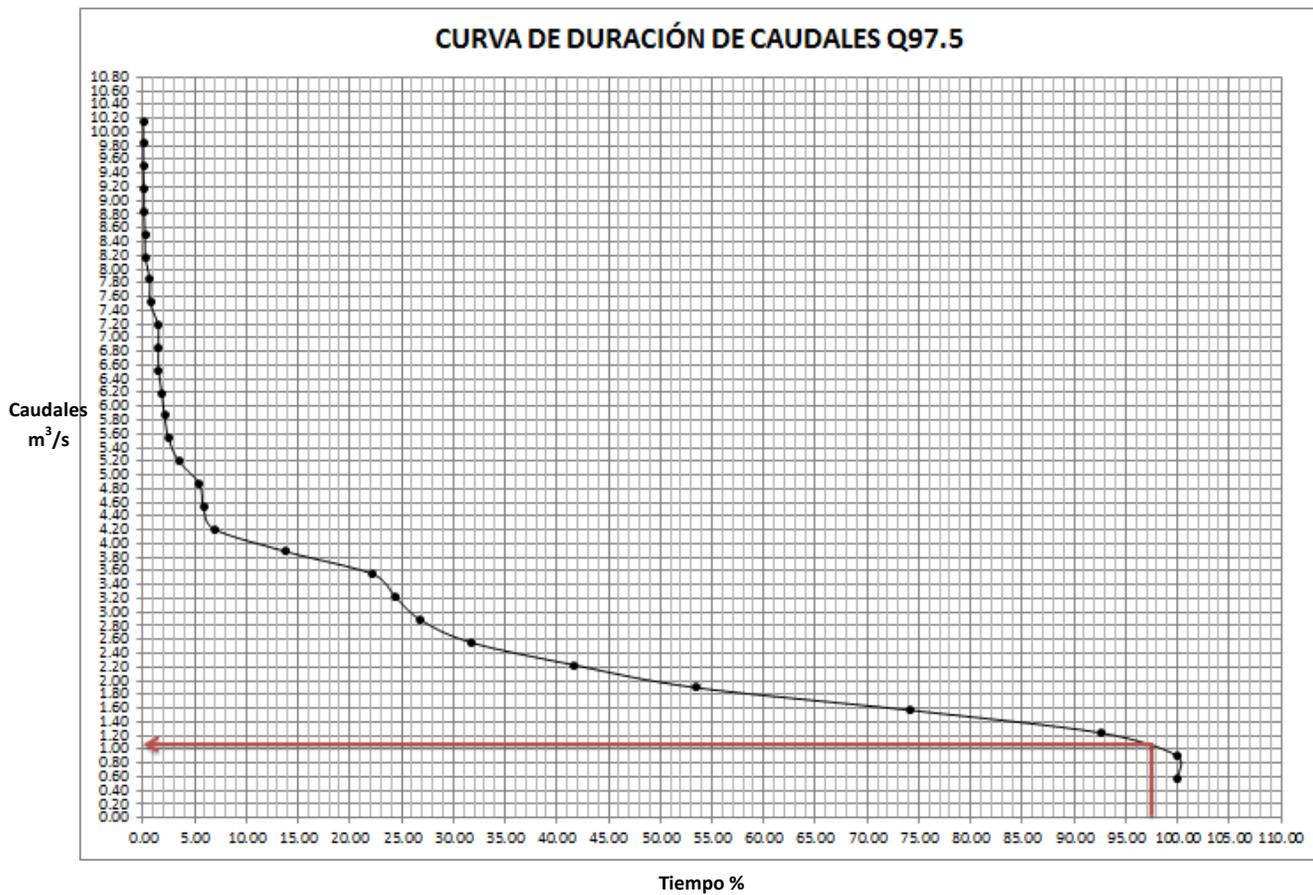


Figura N° 111 Método curva de duración de caudales Q97.5 (Navarco) 1995-2004

Por lo tanto se tiene:



Este valor es mayor al dado en la estación de Bocatoma EPA, esto obedece a que en el río Navarco circula más caudal que en el río Quindío. Es un valor razonable si se tiene en cuenta que en este punto no hay abstracciones importantes.

8.2.5.4 Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004)

Este método toma la curva de duración de caudales de toda la serie histórica y obtiene un valor único del Q90 (Ver Figura N° 112).

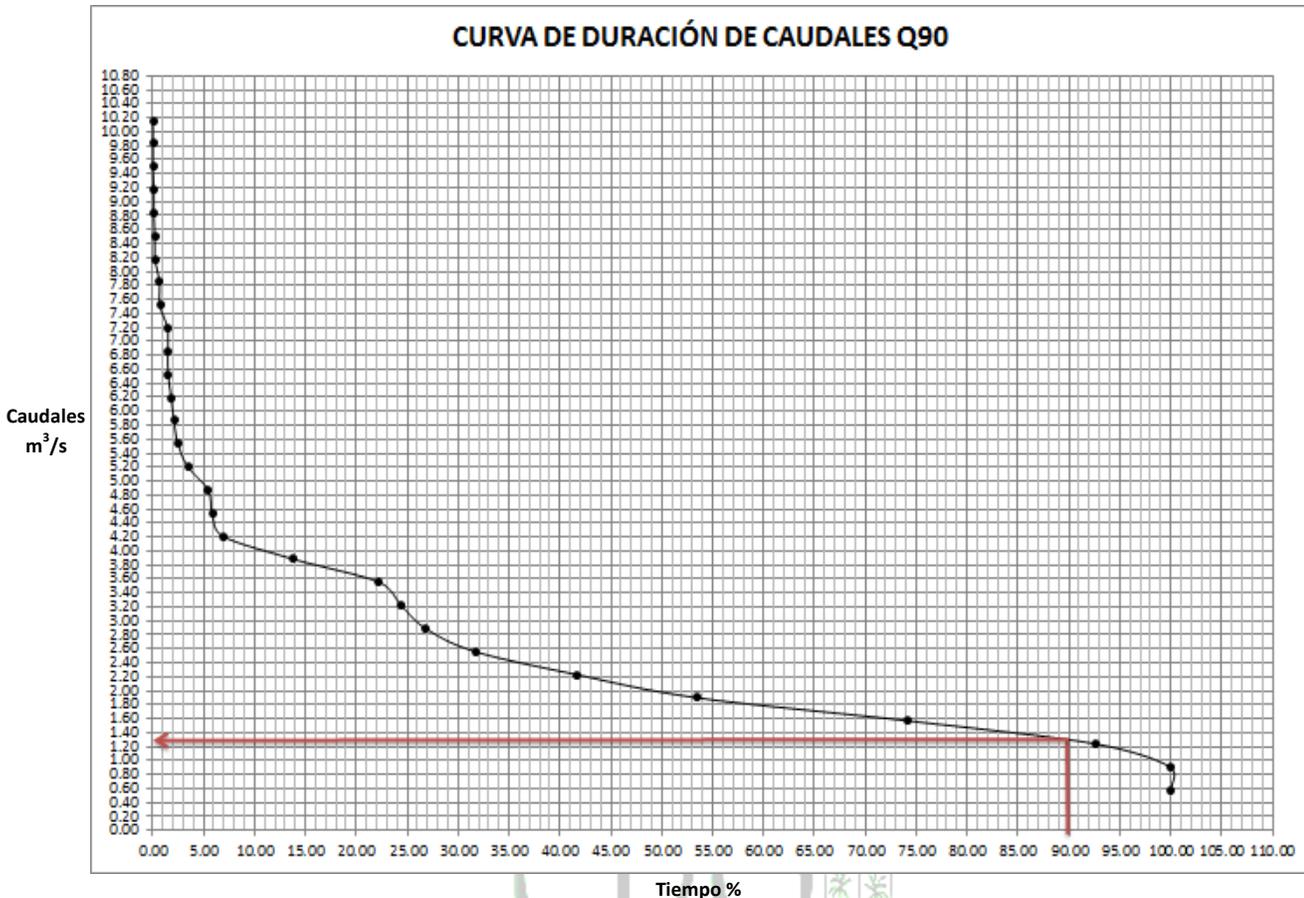


Figura N° 112 Método curva de duración de caudales Q90 (Navarco) 1995-2004

Se tiene entonces:

Valor anual del Q90 (m³/s)
1.270

Aunque es un valor puntual y presenta las dificultades ya mencionadas anteriormente se puede ajustar a las condiciones del tramo.

8.3 TRAMOS INTERMEDIOS

En estos tramos se tienen los caudales ecológicos que no se localizan cerca a una estación limnigráfica puntual con valores diarios, estos tramos representan los puntos donde están ubicadas las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas PCH's y confluencias de ríos y quebradas a lo largo de toda la UMC Río Quindío. Estos valores de caudales ecológicos fueron obtenidos a partir del análisis de caudal a régimen natural trabajado mediante SSD WEAP, el cual como se explica anteriormente, al no tener datos de series históricas diarias, se tiene la necesidad de obtener caudales mensuales a partir de dicho programa los cuales sirven para la obtención de los caudales ecológicos.

A continuación se presentan las tablas resumen de dichos tramos con los caudales ecológicos obtenidos tanto a escala anual como mensual. Dichos tramos corresponden a los mencionados anteriormente desde el tramo N°2 al tramo N° 14. Es importante aclarar que debido al análisis Lluvia – Escorrentía realizado mediante el SSD WEAP, para estos tramos intermedios en algunas secciones se tienen los mismos valores en régimen natural, tal es el caso de la sección comprendida entre los tramos 3 y 7, donde se encuentran ubicadas tres (3) captaciones de centrales hidroeléctricas y la bocatoma del acueducto de La Tebaida. También se tienen las secciones entre los tramos 8 y 11, 12 y 13 y por último el tramo N° 14 que corresponde al final del río Quindío y nacimiento del río La Vieja.

Se presentan a continuación los valores obtenidos de metodologías aplicadas en Colombia (Q95, Ley de Aguas, Estudio Nacional de Aguas e IDEAM), exceptuando al método del 7Q10 debido a que para estos tramos se tienen series planas obtenidas mediante el SSD WEAP el cual genera valores mensuales de caudal a régimen natural, que no aplica para dicho método que parte de un análisis de caudales diarios. También se presentan las tablas resumen de las diferentes metodologías aplicadas tanto a escala mensual como anual.

El comportamiento de las metodologías a lo largo de estos tramos obedece a la dinámica propia de la UMC, comportamiento que se ve reflejado con mayor detalle en el método del Q95, el cual presenta un comportamiento bimodal en la mayoría de los casos y siempre teniendo un aumento relativamente constante según las condiciones de cada tramo.

Para las metodologías utilizadas en Colombia las cuales arrojan valores puntuales se tendrá una tabla resumen para los catorce (14) tramos.

8.3.1 Tramo N° 2: Bocatoma EPA – Confluencia Río Navarco

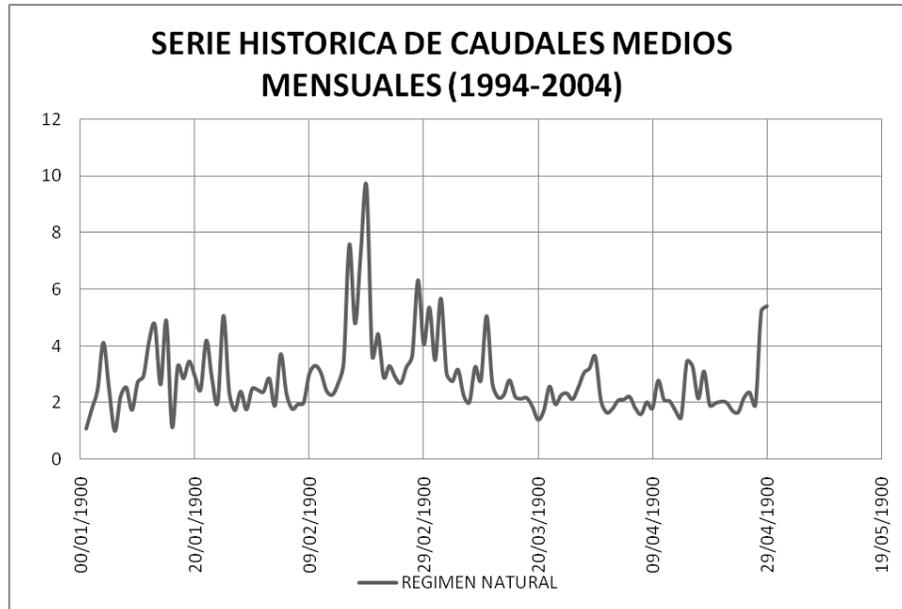


Figura N° 113 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 2) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	1.38
Febrero	1.98
Marzo	1.91
Abril	1.30
Mayo	1.82
Junio	1.12
Julio	1.74
Agosto	1.24
Septiembre	1.55
Octubre	2.00
Noviembre	2.21
Diciembre	2.18

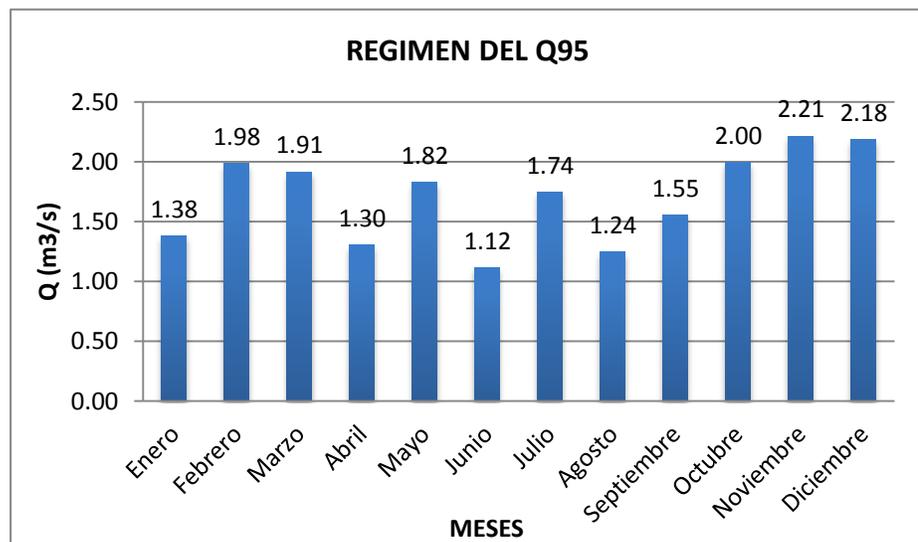


Figura N° 114 Metodología del Q95 (Tramo N° 2) 1995-2004

8.3.2 Tramo N° 3: Confluencia Río Navarco – Toma PCH Campestre

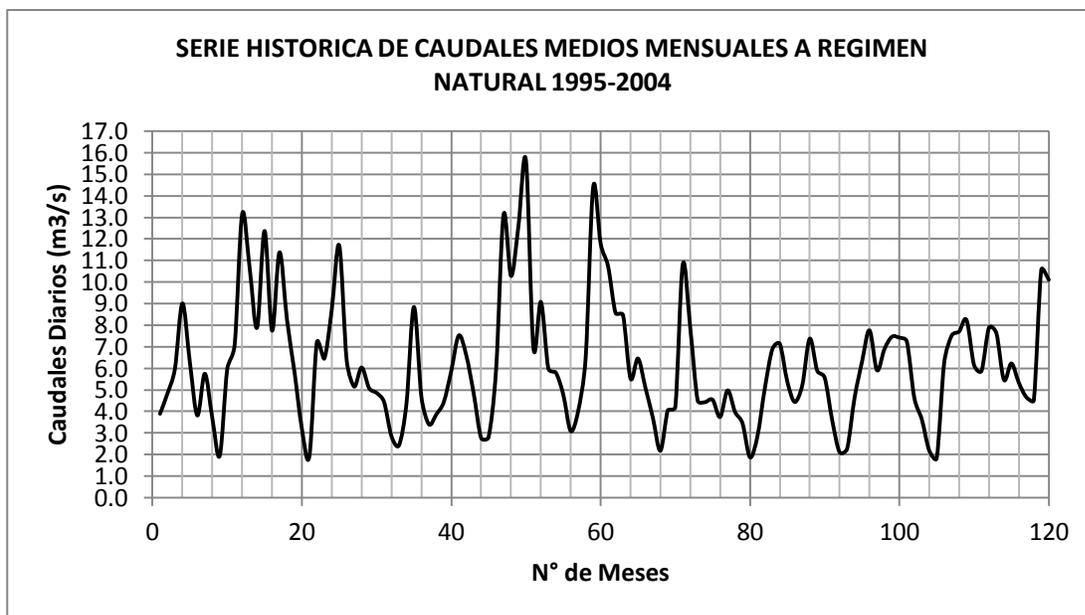


Figura N° 115 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 3) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.86
Febrero	4.44
Marzo	4.83
Abril	4.00
Mayo	4.18
Junio	4.03
Julio	3.58
Agosto	1.82
Septiembre	1.97
Octubre	4.34
Noviembre	6.70
Diciembre	5.11

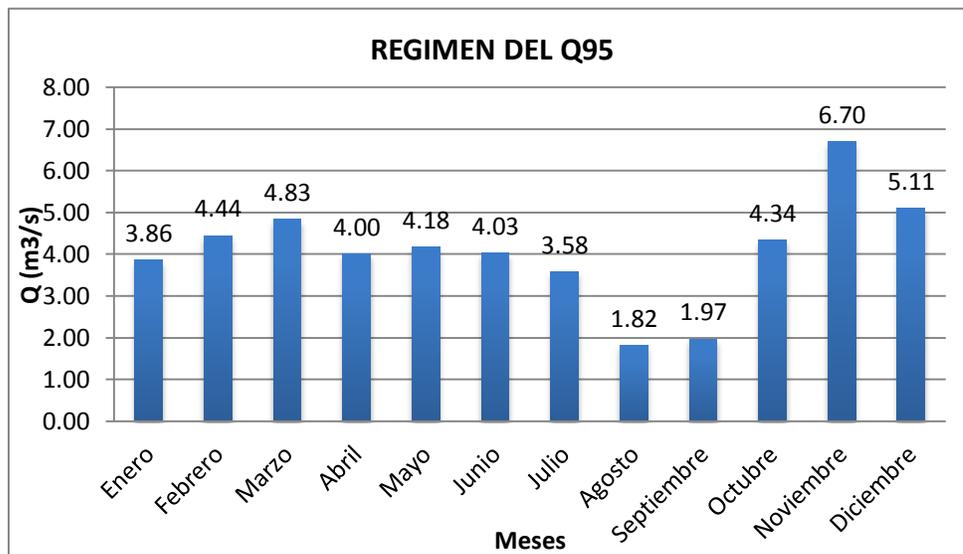


Figura N° 116 Metodología del Q95 (Tramo N° 3) 1995-2004

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	2.08	1.78	1.19	1.09	1.06	1.52	1.40	1.30	0.94	1.15	1.64	1.92
Utah	1.08	1.59	1.72	1.14	1.75	0.99	1.66	1.39	1.47	1.89	1.94	2.02
NGPRP	0.76	1.67	1.74	1.75	2.48	2.27	2.16	1.70	1.68	2.45	1.68	1.36
AFC	2.82	2.55	1.95	1.93	1.67	2.13	2.42	2.27	1.97	1.88	2.37	2.37
Navarro	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
Vasco	0.84	0.72	0.77	0.72	0.70	0.70	0.68	0.63	0.67	0.75	0.96	0.83
Tessman	1.59	1.44	1.37	1.28	1.19	1.20	1.17	1.15	1.18	1.27	1.71	1.42
Q95	1.38	1.98	1.91	1.30	1.82	1.12	1.74	1.24	1.55	2.00	2.21	2.18

Tabla N° 50. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 2)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.29	0.35	0.32	0.44	0.53	0.44	0.34	0.43	0.36	0.44
Matthey 2 (Q347)	0.30	0.36	0.34	0.48	0.59	0.48	0.35	0.46	0.38	0.48
Matthey 3 (Q347)	0.18	0.23	0.21	0.32	0.41	0.32	0.22	0.31	0.24	0.32
DGOH España	0.24	0.31	0.26	0.32	0.45	0.35	0.21	0.24	0.22	0.26
Suizo	0.13	0.28	0.13	0.28	0.28	0.28	0.13	0.13	0.13	0.13
Asturiano	1.44	1.54	1.50	1.69	1.85	1.70	1.52	1.68	1.56	1.70

Tabla N° 51. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 2)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.62	4.14	2.66	2.79	2.74	3.24	2.78	1.76	1.15	2.19	3.68	5.35
Utah	3.40	3.86	4.44	3.74	4.98	3.81	3.45	1.87	1.83	4.20	6.31	4.68
NGPRP	2.79	5.34	5.41	5.16	5.70	5.41	3.92	0.90	1.28	5.47	3.43	4.39
AFC	7.70	6.91	6.64	6.95	6.84	5.41	4.82	2.92	2.88	5.47	9.20	8.92
Navarro	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Vasco	2.15	1.98	1.94	2.01	2.02	1.57	1.39	0.86	0.84	1.64	2.75	2.61
Tessman	3.40	3.05	2.90	2.93	2.85	2.58	2.48	2.32	2.28	2.53	3.68	3.63
Q95	3.86	4.44	4.83	4.00	4.18	4.03	3.58	1.82	1.97	4.34	6.70	5.11

Tabla N° 52. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 3)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.50	0.60	0.66	0.72	0.55	0.49	0.54	0.49	0.96
Matthey 2 (Q347)	0.56	0.56	0.68	0.77	0.85	0.62	0.54	0.60	0.53	1.20
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.38	0.49	0.55	0.62	0.44	0.37	0.42	0.37	0.90
DGOH España	0.60	0.76	0.56	0.60	0.83	0.65	0.45	0.50	0.57	0.69
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.48	1.51	1.66	1.54	1.42	1.45	1.49	1.57

Tabla N° 53. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 3)

8.3.3 Tramo N° 4: Toma PCH Campestre – Toma PCH Bayona

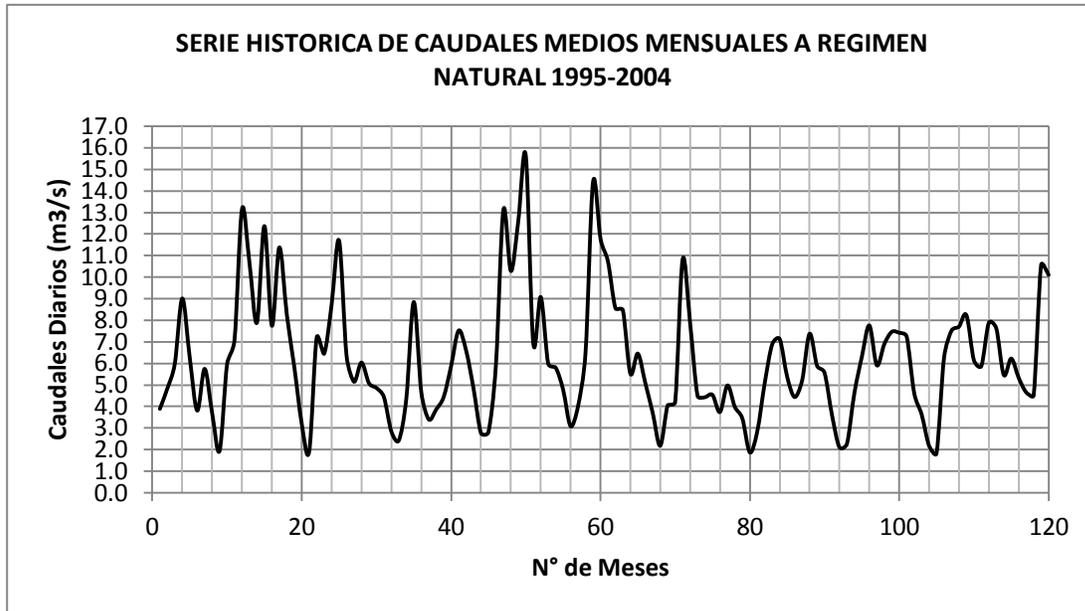


Figura N° 117 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 4) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.86
Febrero	4.44
Marzo	4.83
Abril	4.00
Mayo	4.18
Junio	4.03
Julio	3.58
Agosto	1.82
Septiembre	1.97
Octubre	4.34
Noviembre	6.70
Diciembre	5.11

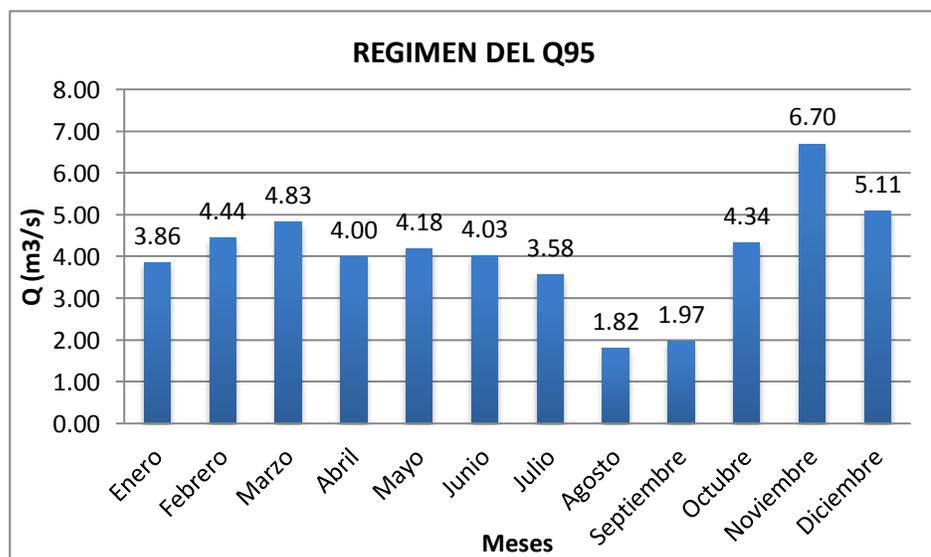


Figura N° 118 Metodología del Q95 (Tramo N° 4) 1995-2004

8.3.4 Tramo N° 5: Toma PCH Bayona – Toma Bocatoma La Tebaida

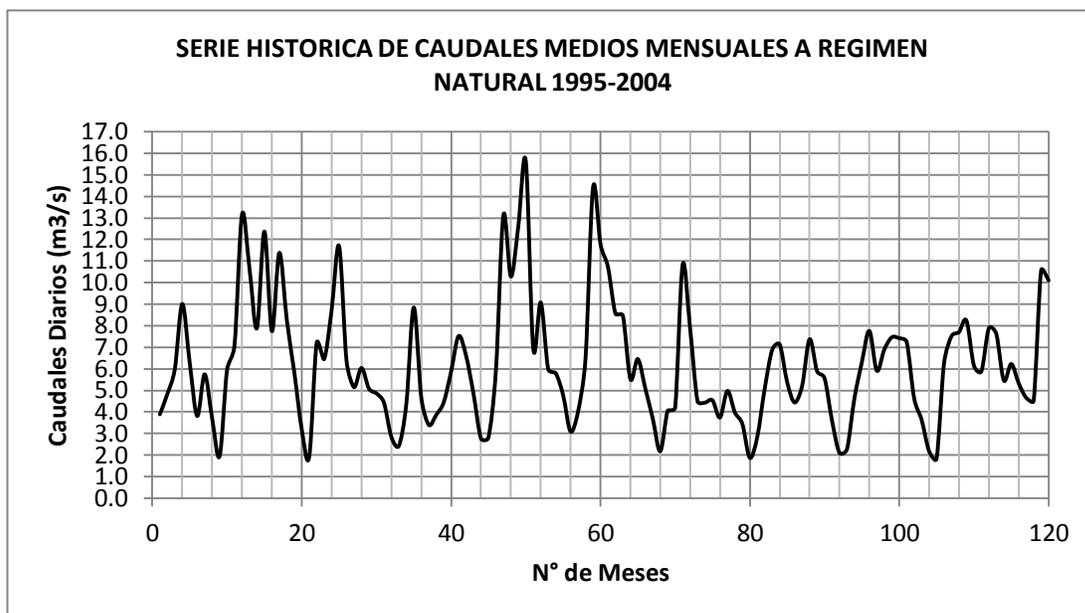


Figura N° 119 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 5) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.86
Febrero	4.44
Marzo	4.83
Abril	4.00
Mayo	4.18
Junio	4.03
Julio	3.58
Agosto	1.82
Septiembre	1.97
Octubre	4.34
Noviembre	6.70
Diciembre	5.11

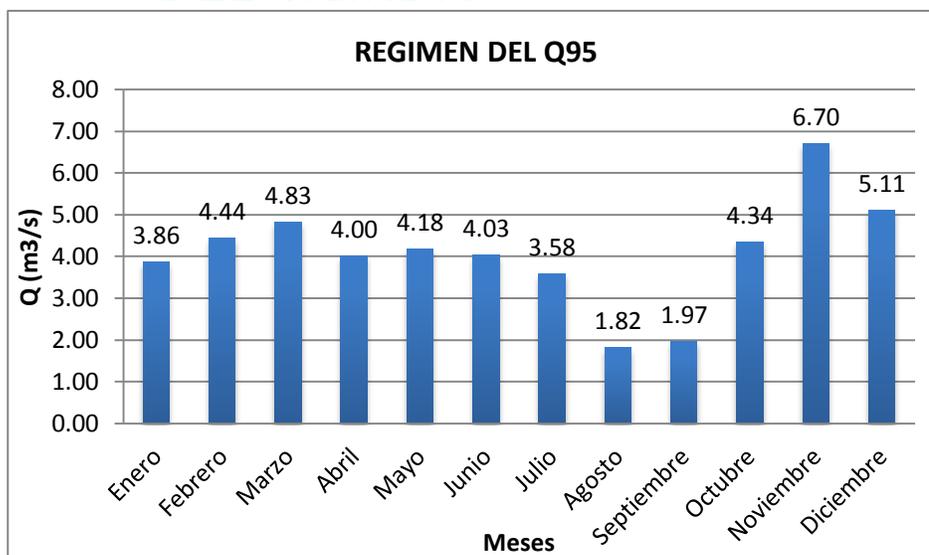


Figura N° 120 Metodología del Q95 (Tramo N° 5) 1995-2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.62	4.14	2.66	2.79	2.74	3.24	2.78	1.76	1.15	2.19	3.68	5.35
Utah	3.40	3.86	4.44	3.74	4.98	3.81	3.45	1.87	1.83	4.20	6.31	4.68
NGPRP	2.79	5.34	5.41	5.16	5.70	5.41	3.92	0.90	1.28	5.47	3.43	4.39
AFC	7.70	6.91	6.64	6.95	6.84	5.41	4.82	2.92	2.88	5.47	9.20	8.92
Navarro	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Vasco	2.15	1.98	1.94	2.01	2.02	1.57	1.39	0.86	0.84	1.64	2.75	2.61
Tessman	3.40	3.05	2.90	2.93	2.85	2.58	2.48	2.32	2.28	2.53	3.68	3.63
Q95	3.86	4.44	4.83	4.00	4.18	4.03	3.58	1.82	1.97	4.34	6.70	5.11

Tabla N° 54 Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 4)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.50	0.60	0.66	0.72	0.55	0.49	0.54	0.49	0.96
Matthey 2 (Q347)	0.56	0.56	0.68	0.77	0.85	0.62	0.54	0.60	0.53	1.20
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.38	0.49	0.55	0.62	0.44	0.37	0.42	0.37	0.90
DGOH España	0.60	0.76	0.56	0.60	0.83	0.65	0.45	0.50	0.57	0.69
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.48	1.51	1.66	1.54	1.42	1.45	1.49	1.57

Tabla N° 55. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 4)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.62	4.14	2.66	2.79	2.74	3.24	2.78	1.76	1.15	2.19	3.68	5.35
Utah	3.40	3.86	4.44	3.74	4.98	3.81	3.45	1.87	1.83	4.20	6.31	4.68
NGPRP	2.79	5.34	5.41	5.16	5.70	5.41	3.92	0.90	1.28	5.47	3.43	4.39
AFC	7.70	6.91	6.64	6.95	6.84	5.41	4.82	2.92	2.88	5.47	9.20	8.92
Navarro	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Vasco	2.15	1.98	1.94	2.01	2.02	1.57	1.39	0.86	0.84	1.64	2.75	2.61
Tessman	3.40	3.05	2.90	2.93	2.85	2.58	2.48	2.32	2.28	2.53	3.68	3.63
Q95	3.86	4.44	4.83	4.00	4.18	4.03	3.58	1.82	1.97	4.34	6.70	5.11

Tabla N° 56. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 5)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.50	0.60	0.66	0.72	0.55	0.49	0.54	0.49	0.96
Matthey 2 (Q347)	0.56	0.56	0.68	0.77	0.85	0.62	0.54	0.60	0.53	1.20
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.38	0.49	0.55	0.62	0.44	0.37	0.42	0.37	0.90
DGOH España	0.60	0.76	0.56	0.60	0.83	0.65	0.45	0.50	0.57	0.69
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.48	1.51	1.66	1.54	1.42	1.45	1.49	1.57

Tabla N° 57. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 5)

8.3.5 Tramo N° 6: Toma Bocatoma La Tebaida – Toma PCH La Unión

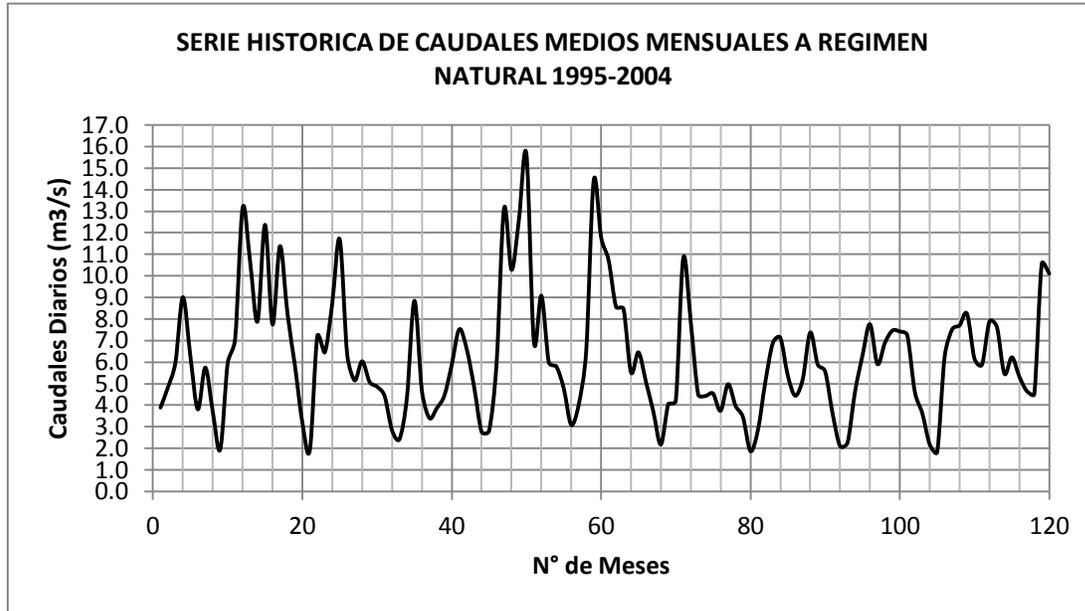


Figura N° 121 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 6) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.86
Febrero	4.44
Marzo	4.83
Abril	4.00
Mayo	4.18
Junio	4.03
Julio	3.58
Agosto	1.82
Septiembre	1.97
Octubre	4.34
Noviembre	6.70
Diciembre	5.11

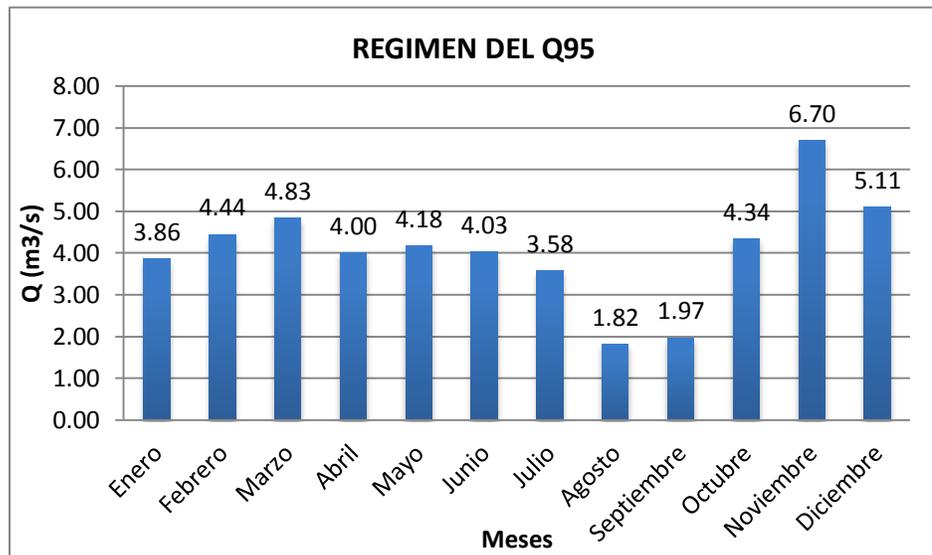


Figura N° 122 Metodología del Q95 (Tramo N° 6) 1995-2004

8.3.5 Tramo N° 7: Toma PCH La Unión- Confluencia Quebrada La Florida

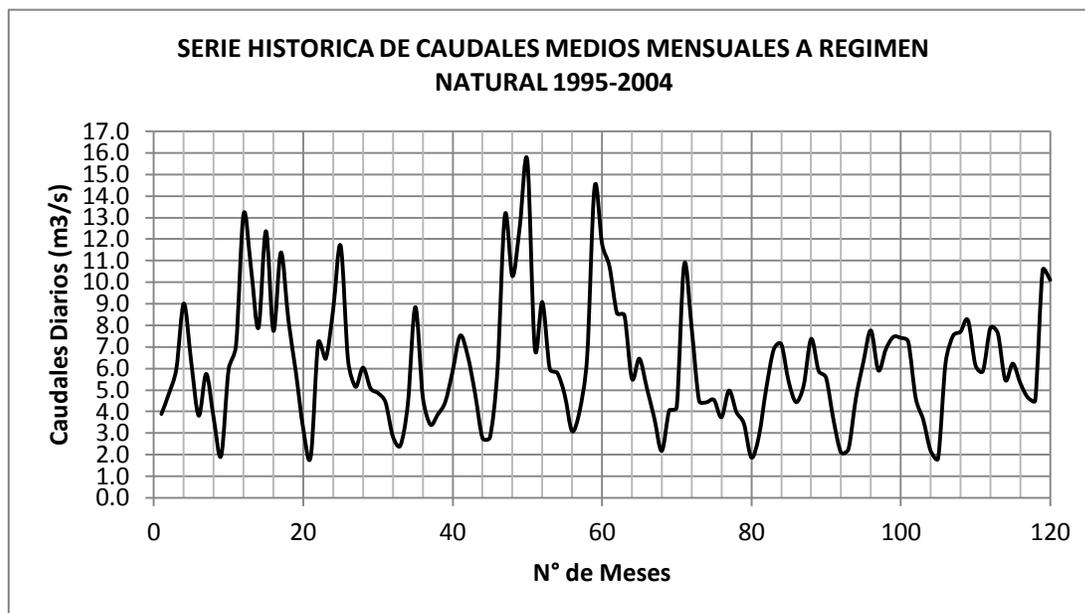


Figura N° 123 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 7) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.86
Febrero	4.44
Marzo	4.83
Abril	4.00
Mayo	4.18
Junio	4.03
Julio	3.58
Agosto	1.82
Septiembre	1.97
Octubre	4.34
Noviembre	6.70
Diciembre	5.11

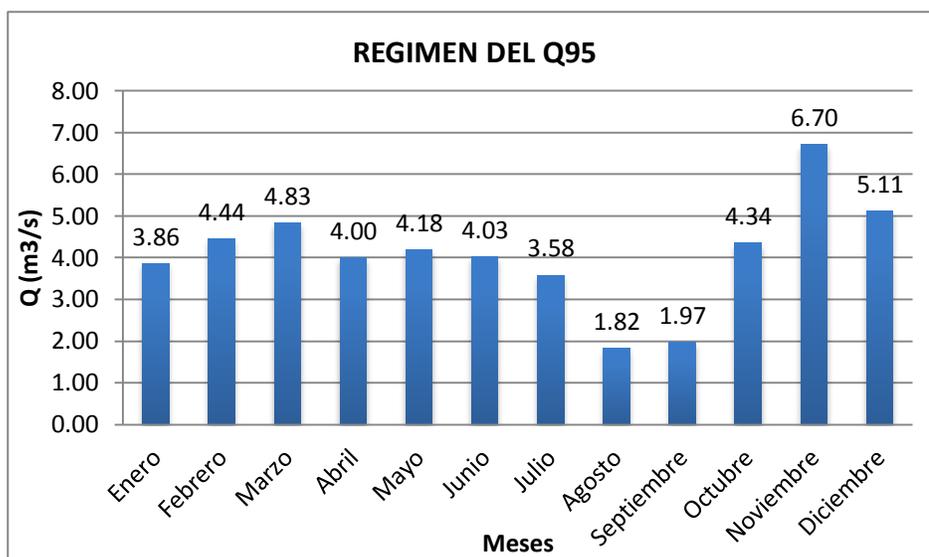


Figura N° 124 Metodología del Q95 (Tramo N° 7) 1995-2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.62	4.14	2.66	2.79	2.74	3.24	2.78	1.76	1.15	2.19	3.68	5.35
Utah	3.40	3.86	4.44	3.74	4.98	3.81	3.45	1.87	1.83	4.20	6.31	4.68
NGPRP	2.79	5.34	5.41	5.16	5.70	5.41	3.92	0.90	1.28	5.47	3.43	4.39
AFC	7.70	6.91	6.64	6.95	6.84	5.41	4.82	2.92	2.88	5.47	9.20	8.92
Navarro	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Vasco	2.15	1.98	1.94	2.01	2.02	1.57	1.39	0.86	0.84	1.64	2.75	2.61
Tessman	3.40	3.05	2.90	2.93	2.85	2.58	2.48	2.32	2.28	2.53	3.68	3.63
Q95	3.86	4.44	4.83	4.00	4.18	4.03	3.58	1.82	1.97	4.34	6.70	5.11

Tabla N° 58. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 6)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.50	0.60	0.66	0.72	0.55	0.49	0.54	0.49	0.96
Matthey 2 (Q347)	0.56	0.56	0.68	0.77	0.85	0.62	0.54	0.60	0.53	1.20
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.38	0.49	0.55	0.62	0.44	0.37	0.42	0.37	0.90
DGOH España	0.60	0.76	0.56	0.60	0.83	0.65	0.45	0.50	0.57	0.69
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.48	1.51	1.66	1.54	1.42	1.45	1.49	1.57

Tabla N° 59. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 6)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.62	4.14	2.66	2.79	2.74	3.24	2.78	1.76	1.15	2.19	3.68	5.35
Utah	3.40	3.86	4.44	3.74	4.98	3.81	3.45	1.87	1.83	4.20	6.31	4.68
NGPRP	2.79	5.34	5.41	5.16	5.70	5.41	3.92	0.90	1.28	5.47	3.43	4.39
AFC	7.70	6.91	6.64	6.95	6.84	5.41	4.82	2.92	2.88	5.47	9.20	8.92
Navarro	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
Vasco	2.15	1.98	1.94	2.01	2.02	1.57	1.39	0.86	0.84	1.64	2.75	2.61
Tessman	3.40	3.05	2.90	2.93	2.85	2.58	2.48	2.32	2.28	2.53	3.68	3.63
Q95	3.86	4.44	4.83	4.00	4.18	4.03	3.58	1.82	1.97	4.34	6.70	5.11

Tabla N° 60. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 7)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.50	0.60	0.66	0.72	0.55	0.49	0.54	0.49	0.96
Matthey 2 (Q347)	0.56	0.56	0.68	0.77	0.85	0.62	0.54	0.60	0.53	1.20
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.38	0.49	0.55	0.62	0.44	0.37	0.42	0.37	0.90
DGOH España	0.60	0.76	0.56	0.60	0.83	0.65	0.45	0.50	0.57	0.69
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.48	1.51	1.66	1.54	1.42	1.45	1.49	1.57

Tabla N° 61. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 7)

8.3.7 Tramo N° 8: Confluencia Quebrada La Florida – Flujo de retorno Armenia

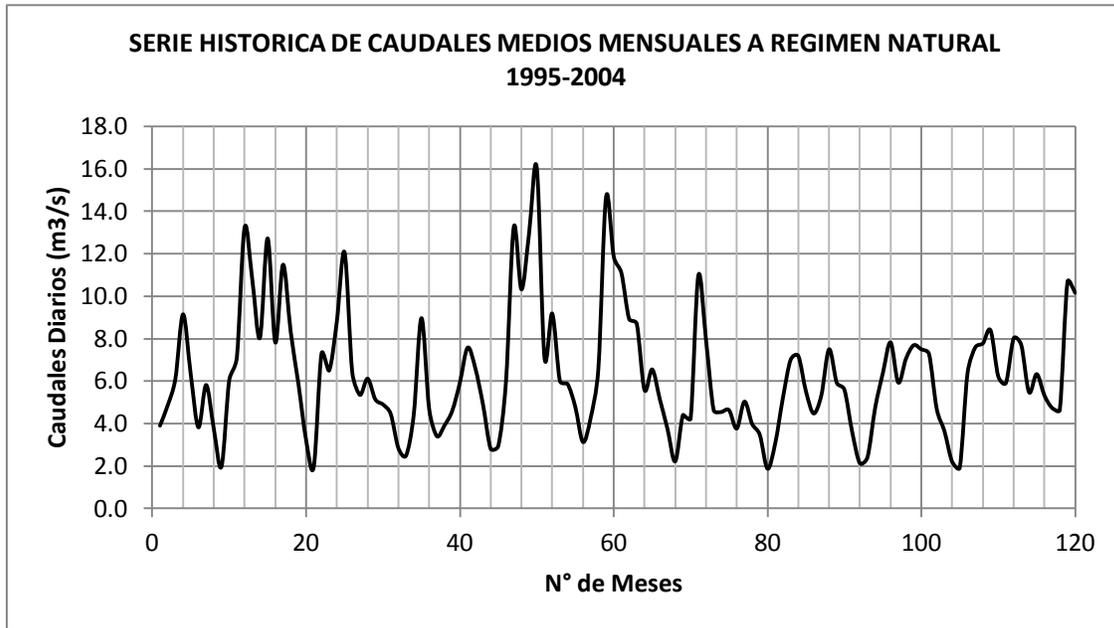


Figura N° 125 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 8) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.88
Febrero	4.51
Marzo	5.00
Abril	4.03
Mayo	4.20
Junio	4.04
Julio	3.60
Agosto	1.82
Septiembre	2.06
Octubre	4.38
Noviembre	6.79
Diciembre	5.11

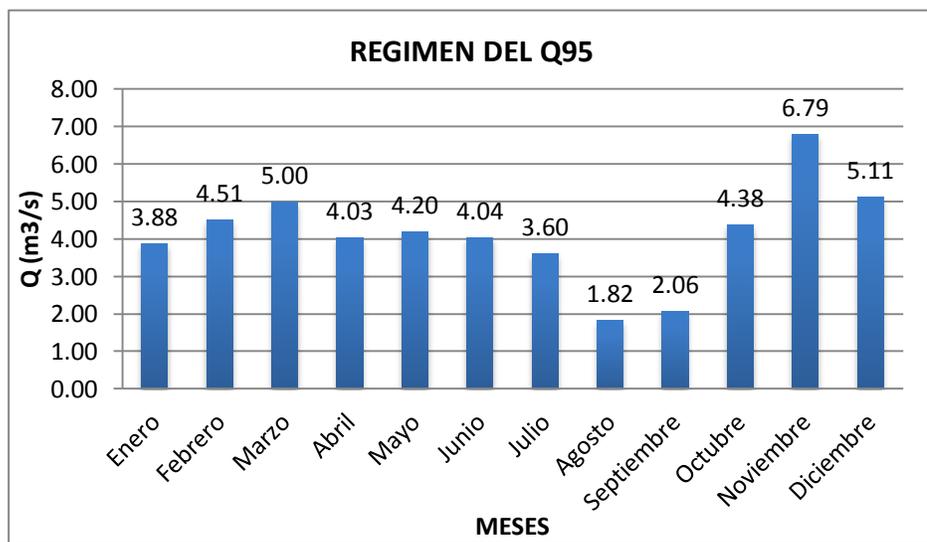


Figura N° 126 Metodología del Q95 (Tramo N° 8) 1995-2004

8.3.8 Tramo N° 9: Flujo de retorno Armenia – Flujo de retorno PCH La Unión

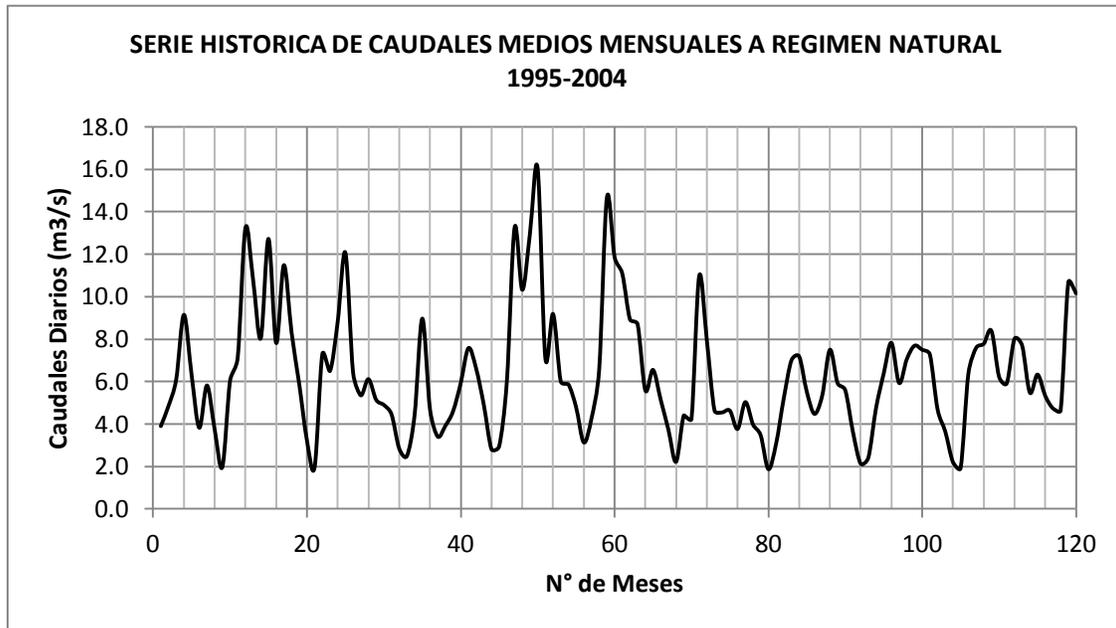


Figura N° 127 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 9) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.88
Febrero	4.51
Marzo	5.00
Abril	4.03
Mayo	4.20
Junio	4.04
Julio	3.60
Agosto	1.82
Septiembre	2.06
Octubre	4.38
Noviembre	6.79
Diciembre	5.11

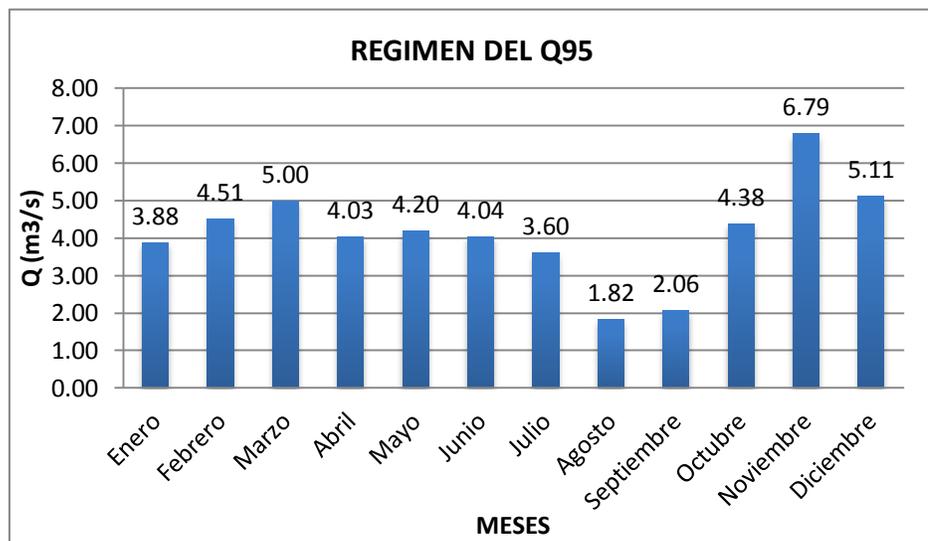


Figura N° 128 Metodología del Q95 (Tramo N° 9) 1995-2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.72	4.23	2.73	2.82	2.76	3.26	2.80	1.77	1.21	2.22	3.72	5.39
Utah	3.41	3.92	4.60	3.76	5.03	3.82	3.47	1.87	1.93	4.23	6.38	4.69
NGPRP	2.84	5.45	5.54	5.22	5.75	5.44	3.96	0.91	1.34	5.55	3.46	4.42
AFC	7.87	7.05	6.81	7.04	6.90	5.44	4.86	2.95	3.02	5.55	9.31	8.98
Navarro	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Vasco	2.18	2.02	1.99	2.03	2.04	1.58	1.40	0.87	0.87	1.67	2.78	2.63
Tessman	3.47	3.12	2.96	2.97	2.88	2.61	2.52	2.35	2.34	2.57	3.72	3.66
Q95	3.88	4.51	5.00	4.03	4.20	4.04	3.60	1.82	2.06	4.38	6.79	5.11

Tabla N° 62. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 8)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.51	0.61	0.67	0.72	0.56	0.49	0.54	0.51	0.98
Matthey 2 (Q347)	0.57	0.57	0.70	0.78	0.86	0.63	0.54	0.61	0.56	1.23
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.39	0.50	0.56	0.63	0.44	0.37	0.42	0.39	0.93
DGOH España	0.60	0.77	0.56	0.60	0.85	0.66	0.45	0.51	0.58	0.70
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.49	1.51	1.67	1.55	1.42	1.46	1.50	1.57

Tabla N° 63. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 8)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.72	4.23	2.73	2.82	2.76	3.26	2.80	1.77	1.21	2.22	3.72	5.39
Utah	3.41	3.92	4.60	3.76	5.03	3.82	3.47	1.87	1.93	4.23	6.38	4.69
NGPRP	2.84	5.45	5.54	5.22	5.75	5.44	3.96	0.91	1.34	5.55	3.46	4.42
AFC	7.87	7.05	6.81	7.04	6.90	5.44	4.86	2.95	3.02	5.55	9.31	8.98
Navarro	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Vasco	2.18	2.02	1.99	2.03	2.04	1.58	1.40	0.87	0.87	1.67	2.78	2.63
Tessman	3.47	3.12	2.96	2.97	2.88	2.61	2.52	2.35	2.34	2.57	3.72	3.66
Q95	3.88	4.51	5.00	4.03	4.20	4.04	3.60	1.82	2.06	4.38	6.79	5.11

Tabla N° 64. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 9)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.51	0.61	0.67	0.72	0.56	0.49	0.54	0.51	0.98
Matthey 2 (Q347)	0.57	0.57	0.70	0.78	0.86	0.63	0.54	0.61	0.56	1.23
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.39	0.50	0.56	0.63	0.44	0.37	0.42	0.39	0.93
DGOH España	0.60	0.77	0.56	0.60	0.85	0.66	0.45	0.51	0.58	0.70
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.49	1.51	1.67	1.55	1.42	1.46	1.50	1.57

Tabla N° 65. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 9)

8.3.9 Tramo N° 10: Flujo de retorno PCH La Unión – Toma canal PCH El Bosque

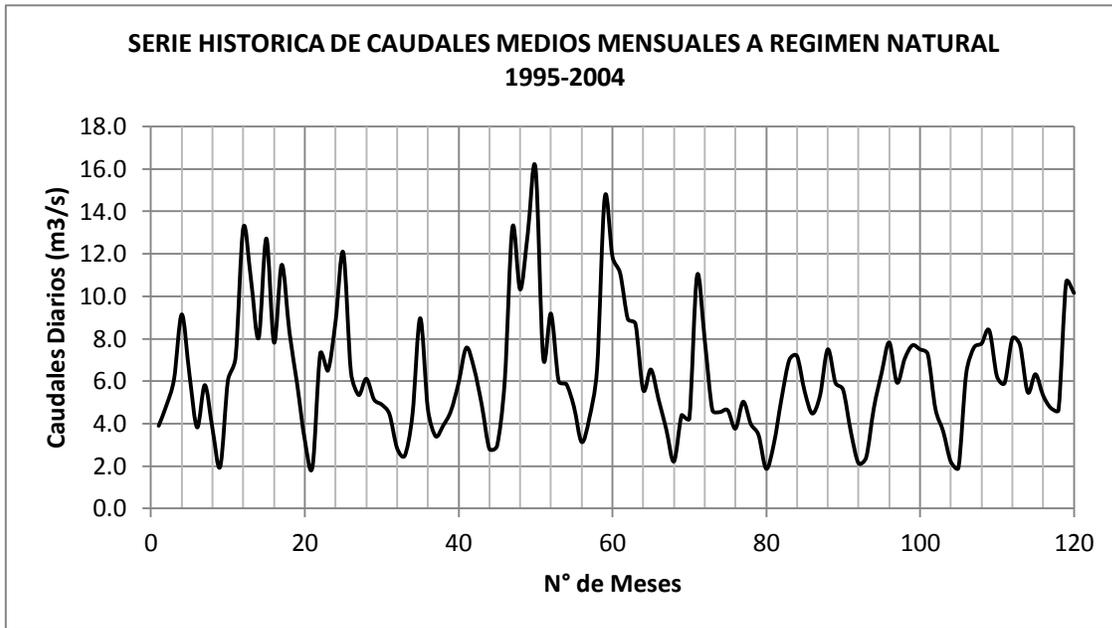


Figura N° 129 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 10) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.88
Febrero	4.51
Marzo	5.00
Abril	4.03
Mayo	4.20
Junio	4.04
Julio	3.60
Agosto	1.82
Septiembre	2.06
Octubre	4.38
Noviembre	6.79
Diciembre	5.11

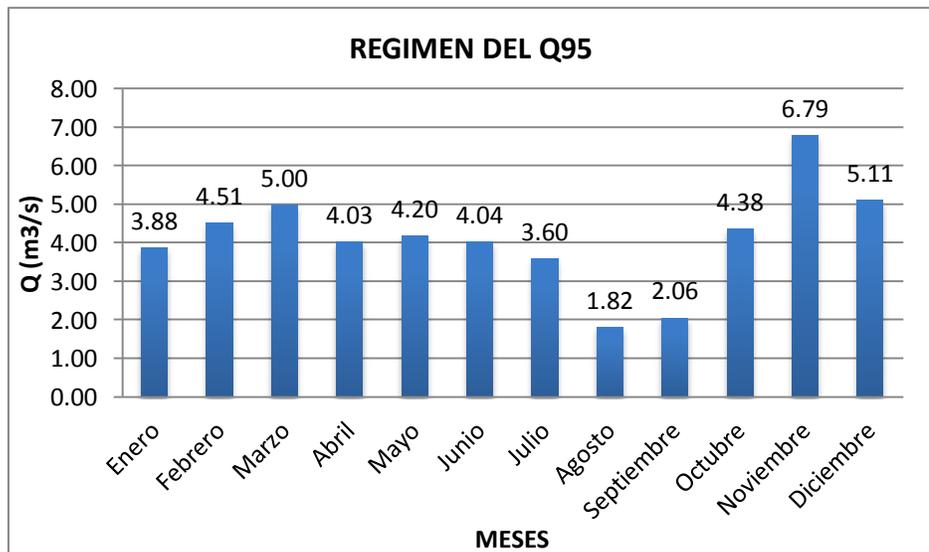


Figura N° 130 Metodología del Q95 (Tramo N° 10) 1995-2004

8.3.10 Tramo N° 11: Toma canal PCH El Bosque – Confluencia Quebrada El Pescador

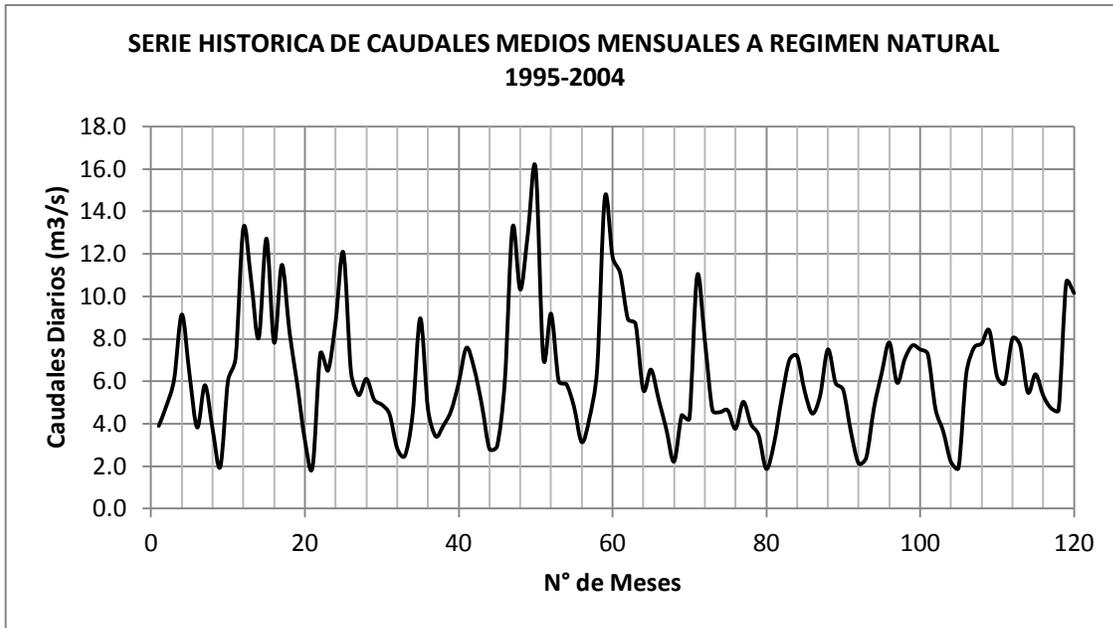


Figura N° 131 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 11) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.88
Febrero	4.51
Marzo	5.00
Abril	4.03
Mayo	4.20
Junio	4.04
Julio	3.60
Agosto	1.82
Septiembre	2.06
Octubre	4.38
Noviembre	6.79
Diciembre	5.11

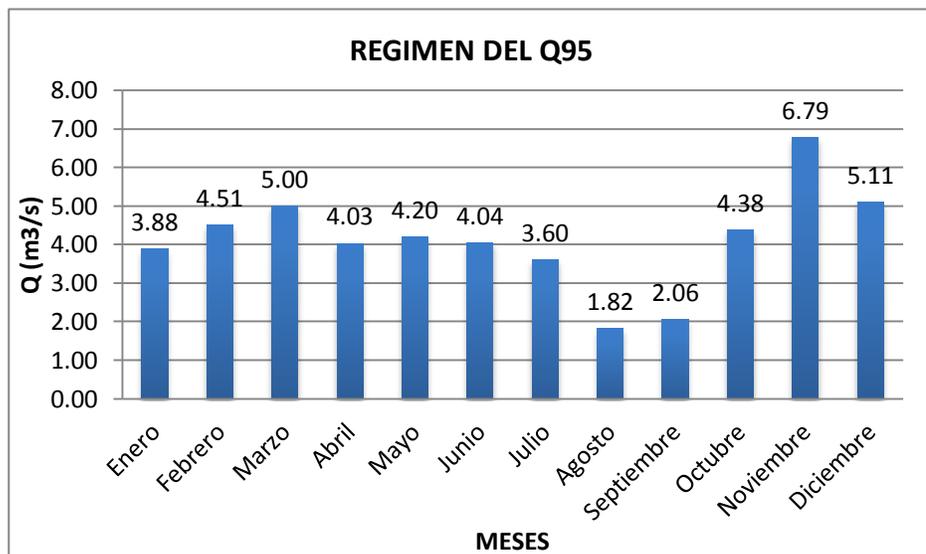


Figura N° 132 Metodología del Q95 (Tramo N° 11) 1995-2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.72	4.23	2.73	2.82	2.76	3.26	2.80	1.77	1.21	2.22	3.72	5.39
Utah	3.41	3.92	4.60	3.76	5.03	3.82	3.47	1.87	1.93	4.23	6.38	4.69
NGPRP	2.84	5.45	5.54	5.22	5.75	5.44	3.96	0.91	1.34	5.55	3.46	4.42
AFC	7.87	7.05	6.81	7.04	6.90	5.44	4.86	2.95	3.02	5.55	9.31	8.98
Navarro	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Vasco	2.18	2.02	1.99	2.03	2.04	1.58	1.40	0.87	0.87	1.67	2.78	2.63
Tessman	3.47	3.12	2.96	2.97	2.88	2.61	2.52	2.35	2.34	2.57	3.72	3.66
Q95	3.88	4.51	5.00	4.03	4.20	4.04	3.60	1.82	2.06	4.38	6.79	5.11

Tabla N° 66. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 10)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.51	0.61	0.67	0.72	0.56	0.49	0.54	0.51	0.98
Matthey 2 (Q347)	0.57	0.57	0.70	0.78	0.86	0.63	0.54	0.61	0.56	1.23
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.39	0.50	0.56	0.63	0.44	0.37	0.42	0.39	0.93
DGOH España	0.60	0.77	0.56	0.60	0.85	0.66	0.45	0.51	0.58	0.70
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.49	1.51	1.67	1.55	1.42	1.46	1.50	1.57

Tabla N° 67. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 10)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.72	4.23	2.73	2.82	2.76	3.26	2.80	1.77	1.21	2.22	3.72	5.39
Utah	3.41	3.92	4.60	3.76	5.03	3.82	3.47	1.87	1.93	4.23	6.38	4.69
NGPRP	2.84	5.45	5.54	5.22	5.75	5.44	3.96	0.91	1.34	5.55	3.46	4.42
AFC	7.87	7.05	6.81	7.04	6.90	5.44	4.86	2.95	3.02	5.55	9.31	8.98
Navarro	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Vasco	2.18	2.02	1.99	2.03	2.04	1.58	1.40	0.87	0.87	1.67	2.78	2.63
Tessman	3.47	3.12	2.96	2.97	2.88	2.61	2.52	2.35	2.34	2.57	3.72	3.66
Q95	3.88	4.51	5.00	4.03	4.20	4.04	3.60	1.82	2.06	4.38	6.79	5.11

Tabla N° 68. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 11)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.51	0.51	0.61	0.67	0.72	0.56	0.49	0.54	0.51	0.98
Matthey 2 (Q347)	0.57	0.57	0.70	0.78	0.86	0.63	0.54	0.61	0.56	1.23
Matthey 3 (Q347)	0.39	0.39	0.50	0.56	0.63	0.44	0.37	0.42	0.39	0.93
DGOH España	0.60	0.77	0.56	0.60	0.85	0.66	0.45	0.51	0.58	0.70
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.51	1.62	1.49	1.51	1.67	1.55	1.42	1.46	1.50	1.57

Tabla N° 69. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 11)

8.3.11 Tramo N° 12: Confluencia Quebrada El Pescador – Flujo de retorno PCH El Bosque

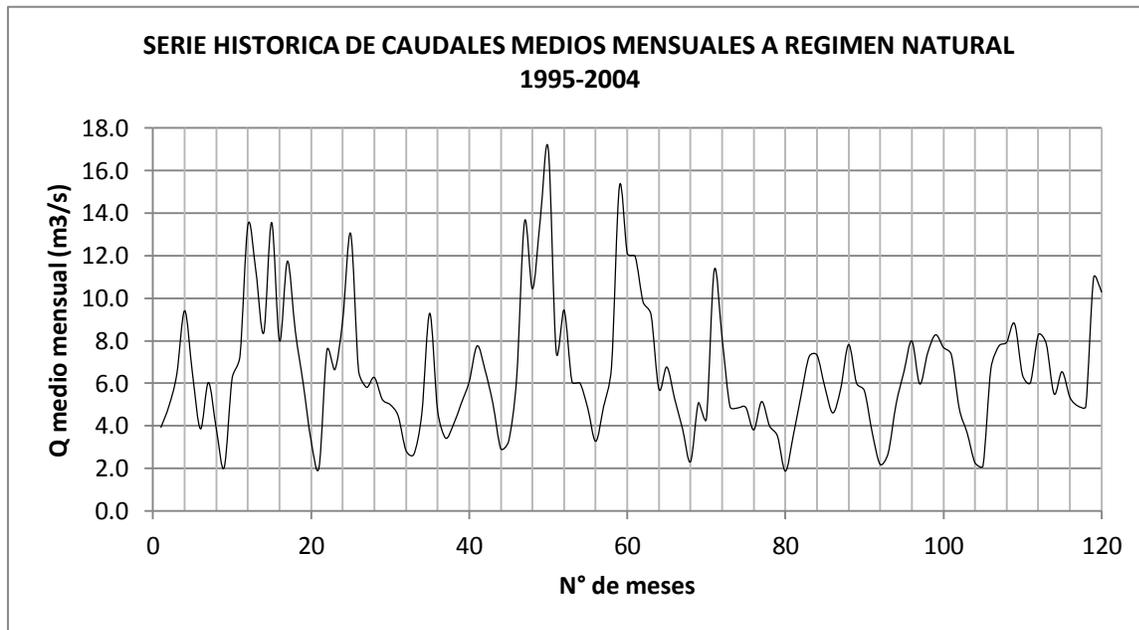


Figura N° 133 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 12) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	3.94
Febrero	4.71
Marzo	5.30
Abril	4.10
Mayo	4.25
Junio	4.09
Julio	3.67
Agosto	2.05
Septiembre	2.20
Octubre	4.48
Noviembre	6.98
Diciembre	5.15

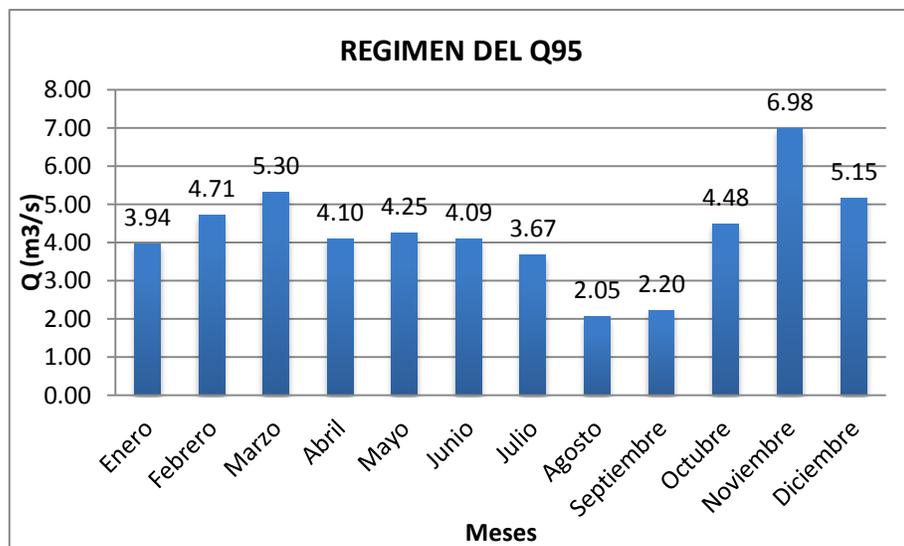


Figura N° 134 Metodología del Q95 (Tramo N° 12) 1995-2004

8.3.11 Tramo N° 13: Flujo de retorno PCH El Bosque- Confluencia Río Verde

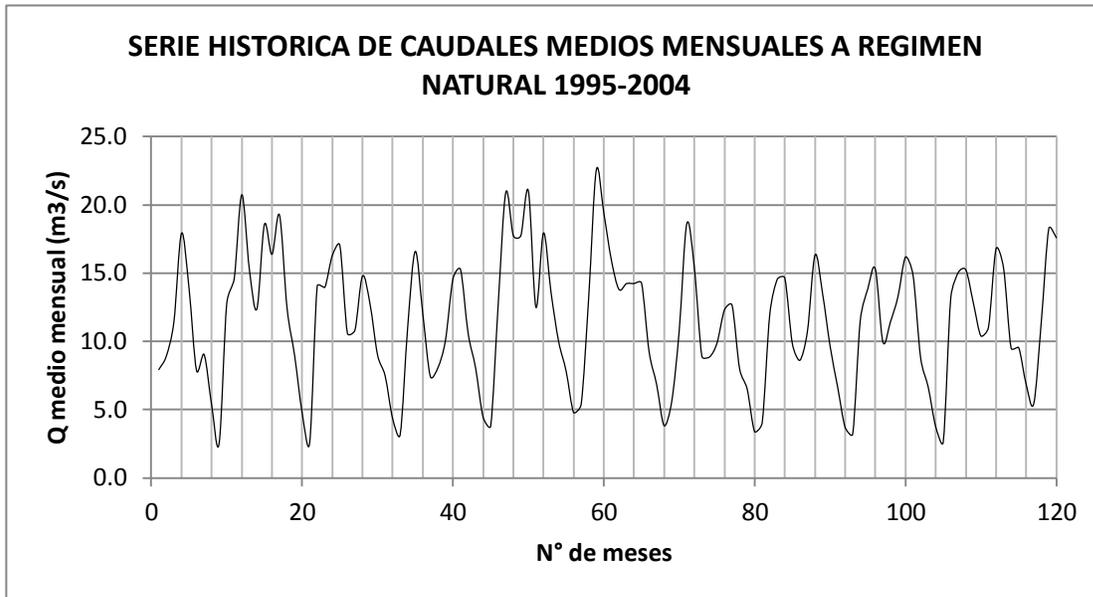


Figura N° 135 Serie histórica de caudales mensuales Tramo N° 13) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	7.94
Febrero	8.71
Marzo	10.30
Abril	12.60
Mayo	8.43
Junio	8.09
Julio	6.67
Agosto	3.55
Septiembre	2.70
Octubre	10.98
Noviembre	14.28
Diciembre	12.45

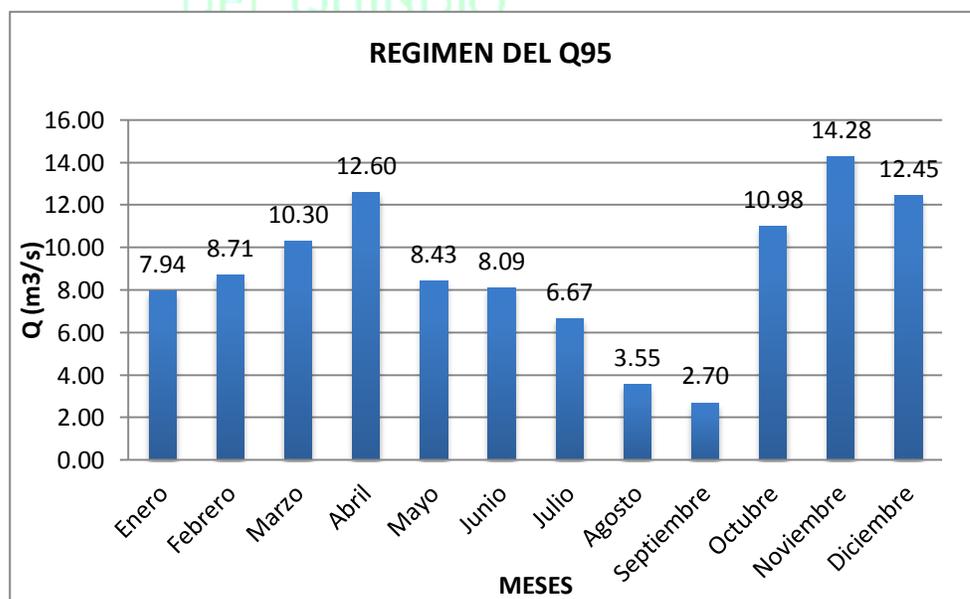


Figura N° 136 Metodología del Q95 (Tramo N° 13) 1995-2004

8.3.12 Tramo N° 14: Confluencia Río Verde – Intersección Barragán-La Vieja

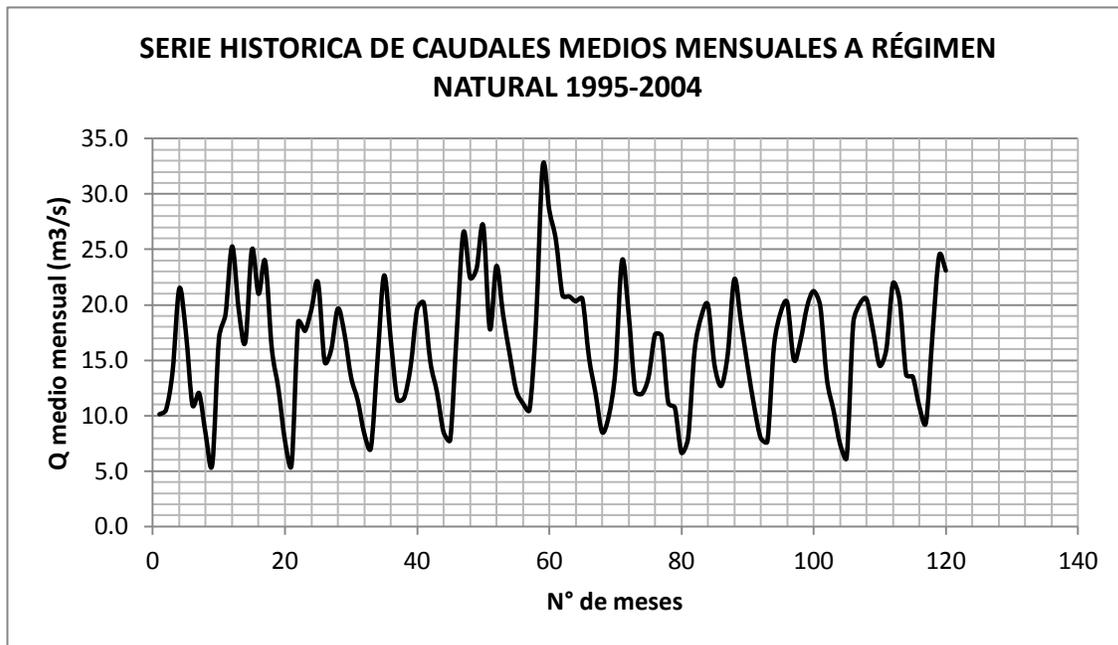


Figura N° 137 Serie histórica de caudales mensuales (Tramo N° 14) 1995-2004

Régimen mensual del Q95	
Enero	10.91
Febrero	11.36
Marzo	13.99
Abril	17.63
Mayo	11.59
Junio	11.20
Julio	10.65
Agosto	6.66
Septiembre	5.83
Octubre	14.30
Noviembre	18.38
Diciembre	17.47

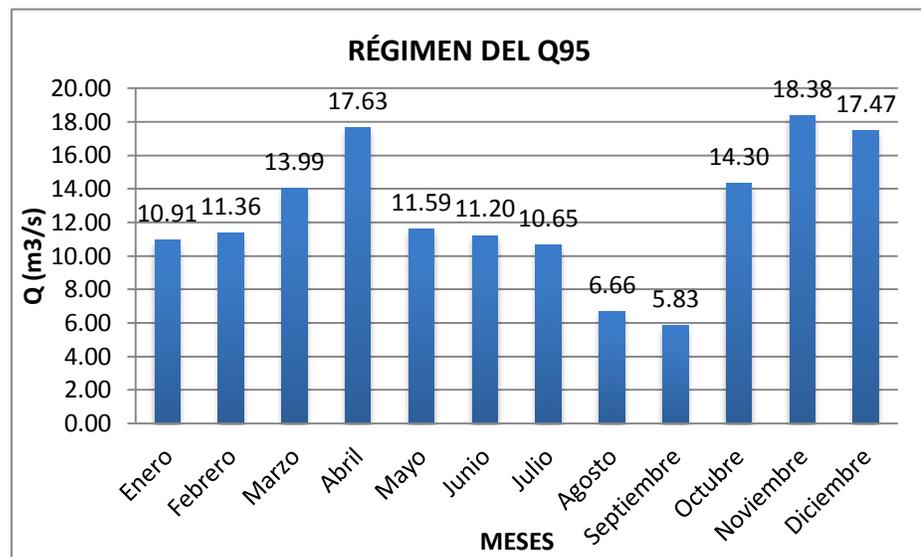


Figura N° 138 Metodología del Q95 (Tramo N° 14) 1995-2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	4.97	4.45	2.90	2.90	2.82	3.31	2.86	1.81	1.34	2.31	3.84	5.48
Utah	3.43	4.06	4.86	3.81	5.15	3.86	3.52	1.87	2.05	4.32	6.55	4.71
NGPRP	2.94	4.73	5.90	5.37	5.86	5.52	4.04	0.92	1.49	5.78	4.48	4.51
AFC	8.29	7.41	7.25	7.23	7.04	5.52	4.96	3.02	3.34	5.78	9.59	9.13
Navarro	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
Vasco	2.28	2.11	2.12	2.08	2.08	1.61	1.43	0.89	0.96	1.73	2.86	2.67
Tessman	3.66	3.27	3.11	3.07	2.96	2.69	2.61	2.43	2.45	2.67	3.84	3.73
Q95	3.94	4.71	5.30	4.10	4.25	4.09	3.67	2.05	2.20	4.48	6.98	5.15

Tabla N° 70. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 12)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.53	0.53	0.64	0.69	0.75	0.58	0.50	0.55	0.54	1.02
Matthey 2 (Q347)	0.59	0.59	0.74	0.81	0.89	0.66	0.54	0.62	0.61	1.30
Matthey 3 (Q347)	0.41	0.41	0.53	0.58	0.66	0.46	0.37	0.44	0.43	0.98
DGOH España	0.62	0.80	0.59	0.62	0.88	0.70	0.47	0.53	0.60	0.72
Suizo	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
Asturiano	1.52	1.64	1.50	1.53	1.69	1.57	1.43	1.47	1.51	1.59

Tabla N° 711. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 12)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	7.37	6.85	4.90	6.30	5.82	5.71	4.66	2.71	1.54	4.91	6.76	9.86
Utah	7.43	8.06	9.86	12.31	12.65	7.86	6.52	3.37	2.55	10.82	13.85	12.01
NGPRP	8.81	9.31	10.40	8.84	12.61	9.52	7.76	0.68	0.56	12.28	7.20	8.89
AFC	12.29	11.41	12.25	15.73	14.54	9.52	8.06	4.52	3.84	12.28	16.89	16.43
Navarro	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Vasco	3.58	3.37	3.66	4.67	4.36	2.82	2.34	1.36	1.12	3.70	5.10	4.91
Tessman	5.44	5.10	5.09	6.30	5.82	4.62	4.58	4.17	3.57	4.95	6.76	6.57
Q95	7.94	8.71	10.30	12.60	8.43	8.09	6.67	3.55	2.70	10.98	14.28	12.45

Tabla N° 72. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 13)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.62	0.62	0.73	0.84	1.00	0.84	0.77	0.74	0.64	1.10
Matthey 2 (Q347)	0.71	0.72	0.87	1.03	1.27	1.03	0.92	0.88	0.73	1.43
Matthey 3 (Q347)	0.51	0.51	0.63	0.76	0.96	0.76	0.67	0.64	0.53	1.09
DGOH España	1.11	1.29	1.08	1.12	1.38	1.19	0.96	1.02	1.09	1.21
Suizo	0.28	0.29	0.28	0.28	0.29	0.28	0.28	0.28	0.28	0.29
Asturiano	1.83	1.95	1.82	1.84	2.00	1.88	1.74	1.78	1.82	1.90

Tabla N° 73. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 13)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	10.31	9.45	6.91	8.33	7.79	8.34	7.08	5.13	3.12	6.75	9.01	12.95
Utah	10.13	10.54	13.42	17.33	17.15	10.95	10.51	6.66	5.59	14.08	17.64	16.90
NGPRP	9.06	13.04	14.77	14.06	17.08	13.89	11.79	2.20	1.05	16.86	9.51	11.65
AFC	17.30	16.16	17.44	21.02	19.63	14.19	12.06	8.82	7.33	17.31	23.69	22.55
Navarro	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
Vasco	4.93	4.54	5.09	6.23	5.78	4.14	3.53	2.54	2.28	5.04	6.64	6.41
Tessman	7.56	7.13	7.21	8.33	7.79	6.45	6.45	6.45	6.26	6.88	9.01	8.63
Q95	10.91	11.36	13.99	17.63	11.59	11.20	10.65	6.66	5.83	14.30	18.38	17.47

Tabla N° 74. Metodologías aplicadas a escala mensual (Tramo N° 14)

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	1.13	1.13	1.35	1.46	1.84	1.56	1.29	1.44	1.23	1.68
Matthey 2 (Q347)	1.49	1.47	1.85	2.03	2.70	2.20	1.74	1.99	1.63	2.42
Matthey 3 (Q347)	1.13	1.12	1.42	1.56	2.10	1.70	1.33	1.53	1.25	1.87
DGOH España	1.44	1.70	1.54	1.56	1.99	1.76	1.36	1.50	1.58	1.69
Suizo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.29	0.90	0.90	0.90
Asturiano	3.11	3.09	3.62	3.87	4.81	4.11	3.47	3.82	3.32	4.41

Tabla N° 75. Metodologías aplicadas a escala anual (Tramo N° 14)

Es importante resaltar en este punto del estudio los resultados obtenidos de caudales ecológicos para la parte media de la UMC Río Quindío y sus implicaciones ambientales y socioeconómicas en el departamento. Si se observa con detenimiento las series históricas a régimen natural obtenidas del modelo Lluvia-Escorrentía en sus caudales mínimos, comparándolos con los resultados de caudales ecológicos (más precisamente con el método del Q95 – Proyecto de resolución), se evidencia que dichos caudales mínimos son mayores que los caudales ecológicos por valores que oscilan entre 0.5 y 1.5 m³/s; resultados que en época de estiaje, y si se tiene en cuenta que las tres (3) PCH's ubicadas en dicho tramo del río tienen una concesión de 2.7 m³/s, se puede concluir que en este sector del río se genera un estrés hídrico considerable afectando no solo a la morfología de la cuenca sino también al ecosistema propio que de esta depende. Esto debido en gran parte a la captación que hace actualmente las Empresas Públicas de Armenia en la cuenca alta de la UMC Río Quindío y que aguas abajo acrecienta la problemática con las continuas captaciones de las Centrales Hidroeléctricas, que aunque no son consuntivas, al ser captaciones consecutivas generan un estrés hídrico importante en esta zona.

Considerando que los usuarios más grandes de la cuenca no captan el total de caudal concesionado, los caudales ecológicos y el análisis que de allí se genera, permite concluir que para épocas de estiaje los caudales ecológicos demandados son sensiblemente menores a los obtenidos a partir de la inclusión del caudal total concesionado para cada usuario (bocatomas y centrales hidroeléctricas).

A partir de estos resultados se recomienda que en épocas de estiaje o fenómenos hidrológicos como el Niño, se haga un control del caudal que captan las estaciones hidroeléctricas para que estas lo hagan a un máximo del 50% del valor concesionado con el fin de mantener un caudal en el río que permita conservar las características ecosistemáticas y morfologías de este sin ninguna afectación sustancial. Estos porcentajes se acordarán con los usuarios de acuerdo a las necesidades del río y dichos usuarios.

Para la parte baja de la UMC Río Quindío los valores de caudales ecológicos obtenidos no presentan la misma importancia ecológica y socioeconómica que tienen los obtenidos en cuenca media debido a que en esta zona no existen aprovechamientos que generen impactos ambientales y sociales representativos.

8.4 ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA CENTRO EXPERIMENTAL DE LA GUADUA SOBRE EL CAUCE DEL RÍO VERDE

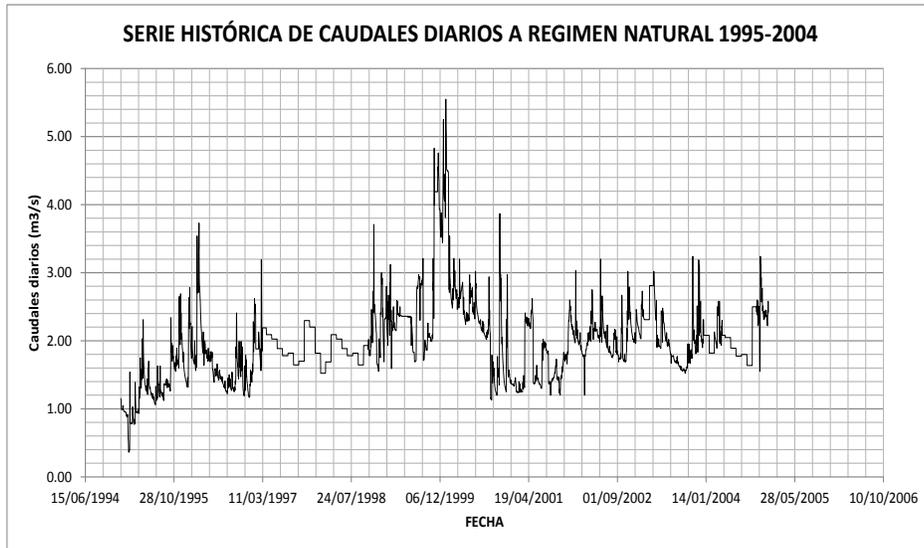


Figura N° 139 Serie histórica de caudales diarios estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004

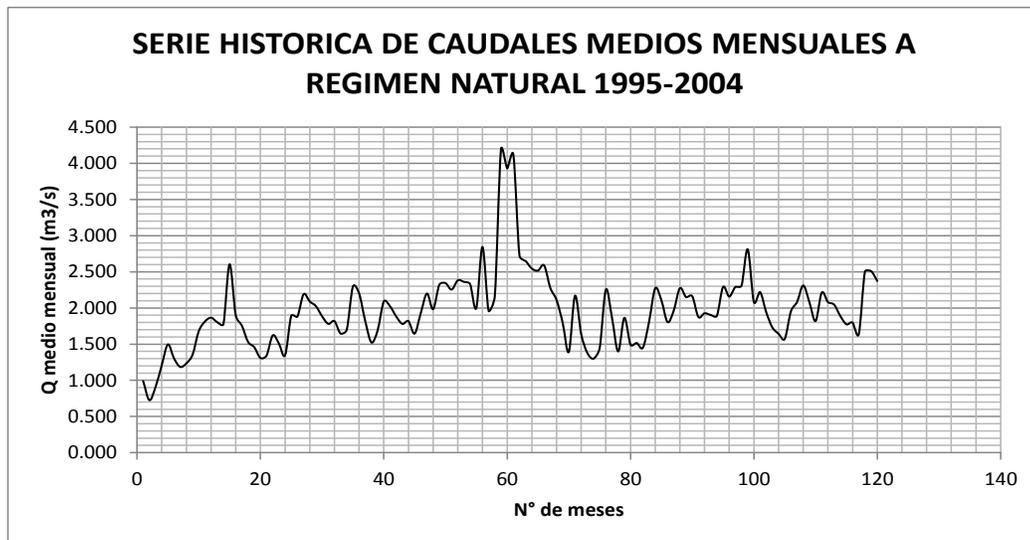


Figura N° 140 Serie histórica de caudales estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004

A diferencia de los tramos anteriores, y como es de esperarse, para el río Verde se manejan caudales más bajos que los que se venían trabajando en cuenca media. Este punto es importante estudiarlo porque el Río verde confluye al río Quindío con un gran caudal antes de llegar a la confluencia con el río Barragán.

En general se puede observar un caudal promedio que oscila entre 1.5 y 2 m³/s, con un pico importante que alcanza los 4.2 m³/s aproximadamente.

La serie histórica completa en tablas se encuentra en los ANEXOS.

8.4.1 Información preliminar

Esta información se muestra a continuación en la Figura N° 141 la cual muestra la media intranual e interanual y los valores de Q300 y Q347.

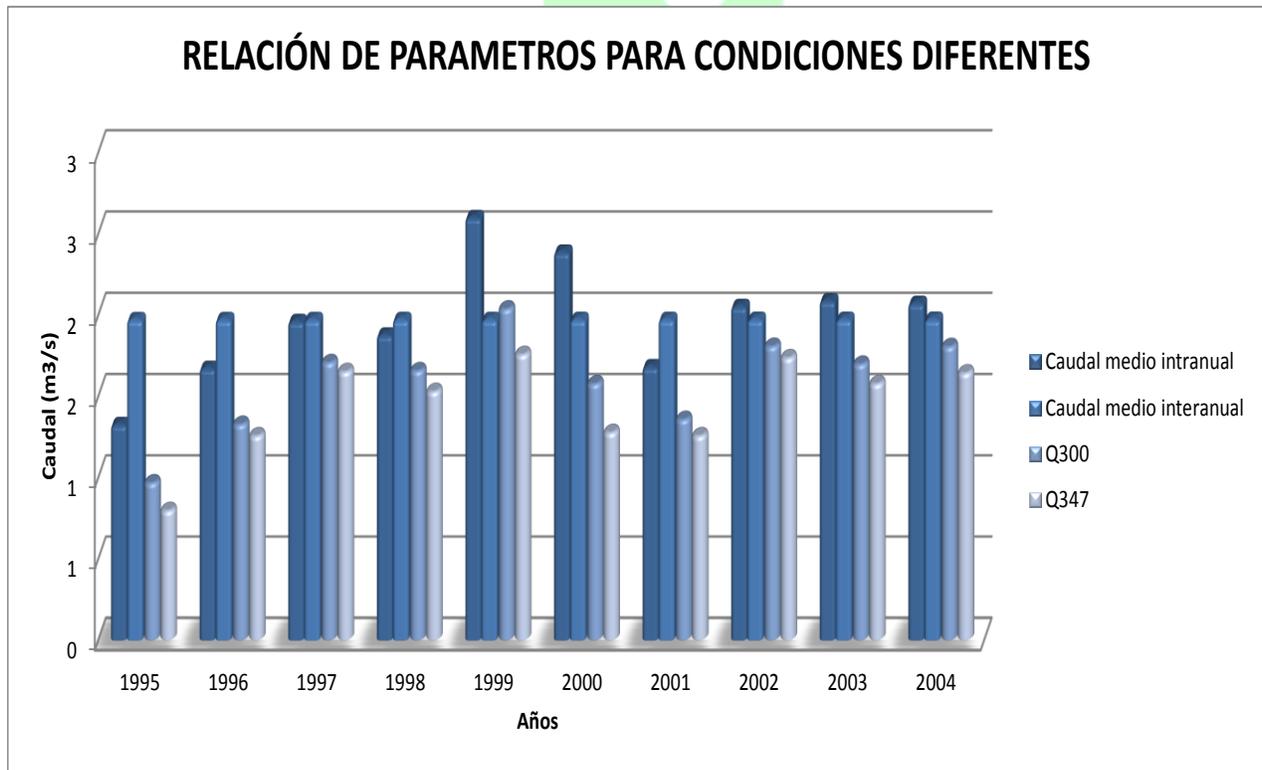


Figura N° 141 Serie histórica de caudales mensuales estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde 1995-2004

8.4.2 Metodologías a escala mensual

Meses	Promedio mensual multianual
Enero	1.116
Febrero	0.975
Marzo	1.020
Abril	1.137
Mayo	1.170
Junio	1.091
Julio	1.079
Agosto	1.067
Septiembre	0.981
Octubre	1.037
Noviembre	1.214
Diciembre	1.227

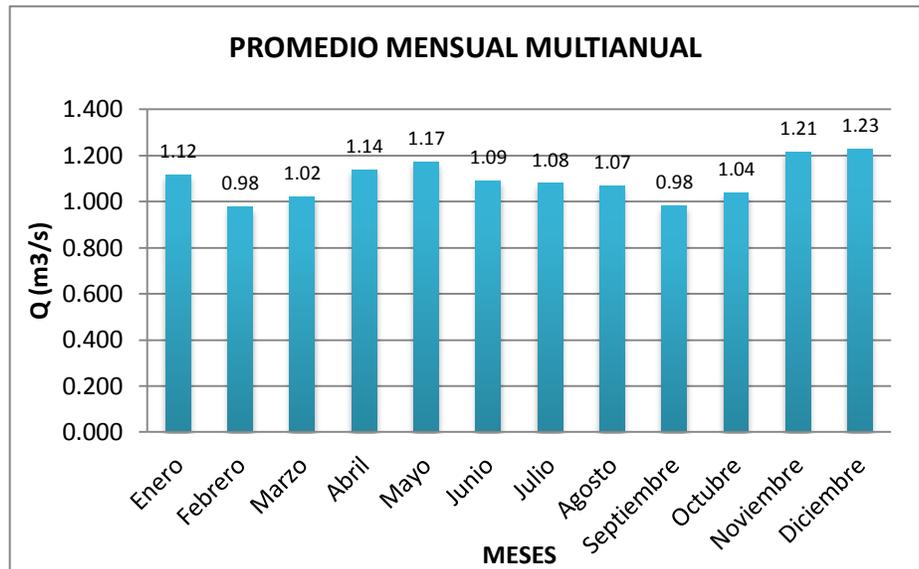


Figura N° 142 Promedio mensual multianual (Estación limnográfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)

La Figura N° 142 representa un comportamiento medianamente bimodal, con picos en los meses de mayo y diciembre ajustándose a lo normal en la región. Una excepción a tener en cuenta es que los meses de febrero y septiembre para este caso son los más secos en todo el régimen, caso particular si se tiene en cuenta que dichos meses no son caracterizados por dicho comportamiento en el clima regional.

A continuación en la Tabla N° 76 se presentan los resultados obtenidos utilizando las metodologías a escala mensual analizadas en este proyecto.

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES)												
METODOLOGIAS	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Texas	1.25	1.09	0.83	0.84	0.82	1.13	1.07	1.08	0.66	0.73	0.91	1.32
Utah	0.99	0.73	0.91	1.21	1.50	1.30	1.18	1.23	1.34	1.39	1.51	1.35
NGPRP	1.43	1.11	1.03	1.48	1.56	1.13	1.51	1.26	1.37	1.29	1.62	1.44
AFC	1.81	1.70	1.95	1.98	1.93	1.83	1.71	1.75	1.52	1.68	2.08	1.99
Navarro	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Vasco	0.58	0.51	0.59	0.61	0.60	0.55	0.52	0.52	0.48	0.53	0.65	0.63
Tessman	0.91	0.84	0.90	0.87	0.85	0.83	0.80	0.83	0.78	0.81	0.94	0.92
Q95	1.15	0.82	1.00	1.27	1.55	1.37	1.24	1.32	1.37	1.45	1.64	1.47

Tabla N° 76. Comparación de metodologías a escala mensual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)

1995 - 2004

UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO



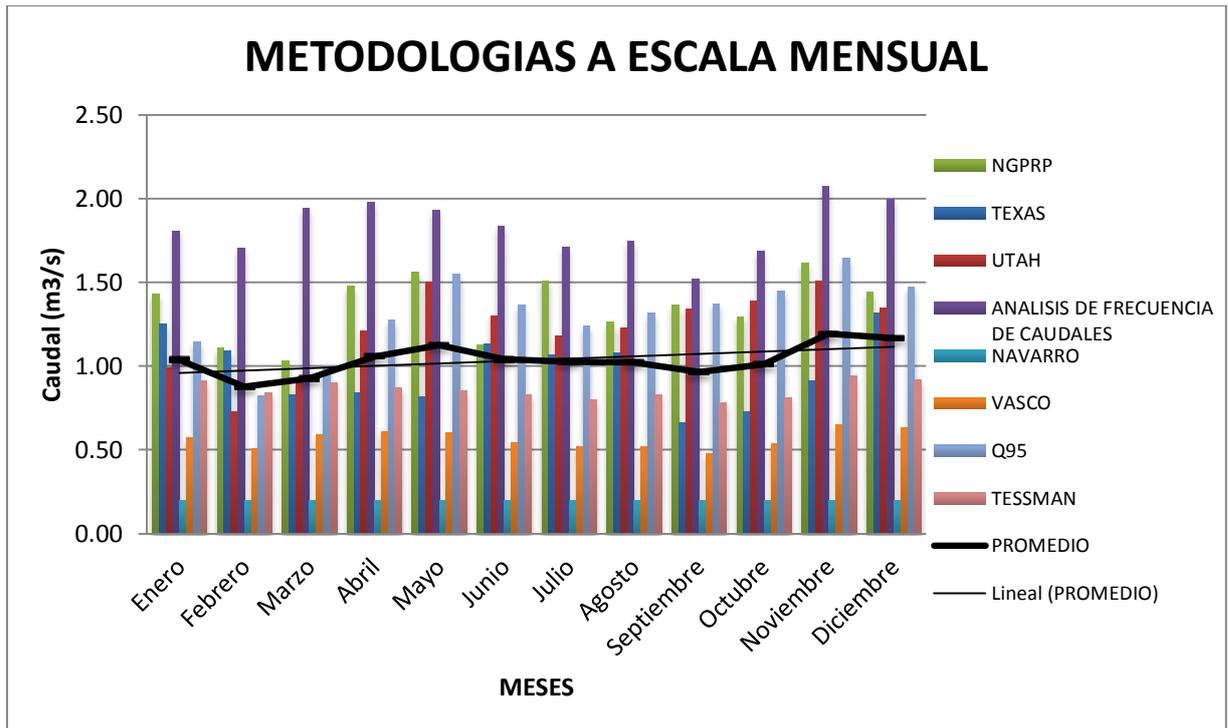


Figura N° 143 Comparación de metodologías a escala mensual (Estación limnográfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)

Es importante para este punto resaltar que la metodología NGPRP no es tan representativa como lo fue en tramos descritos anteriormente, ya que si se observa en la Figura N° 143 el método del Q95 posee un caudal ecológico más conservador.

8.4.3 Metodologías a escala anual

A excepción del año de 1995, el cual tiene un valor bastante bajo comparado con los otros años, los caudales ecológicos registrados para este tramo con metodologías a escala anual son bastante parecidos sin variaciones significantes, algo parecido al comportamiento de las metodologías a escala mensual.

A continuación se tiene en la Tabla N° 77 las metodologías a escala anual con el comportamiento característico de estas.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

Meses	Promedio anual
1995	0.371
1996	0.431
1997	0.481
1998	0.466
1999	0.508
2000	0.451
2001	0.431
2002	0.493
2003	0.476
2004	0.483

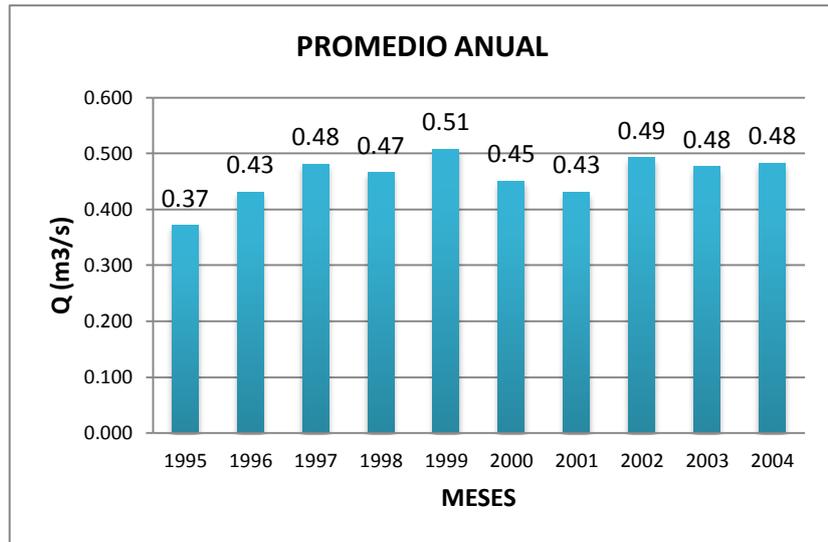


Figura N° 144 Promedio multianual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995 – 2004

GRAFICO COMPARATIVO DE METODOLOGIAS A ESCALA ANUAL										
METODOLOGIAS	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Matthey 1 (Q347)	0.27	0.37	0.45	0.43	0.47	0.37	0.37	0.47	0.43	0.45
Matthey 2 (Q347)	0.27	0.39	0.49	0.46	0.51	0.39	0.39	0.51	0.47	0.48
Matthey 3 (Q347)	0.16	0.25	0.33	0.30	0.35	0.25	0.25	0.35	0.31	0.33
DGOH España	0.13	0.17	0.20	0.19	0.26	0.24	0.17	0.20	0.21	0.21
Suizo	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
Asturiano	1.27	1.28	1.30	1.29	1.33	1.32	1.29	1.30	1.30	1.30

Tabla N° 77. Comparación de metodologías a escala anual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995 - 2004



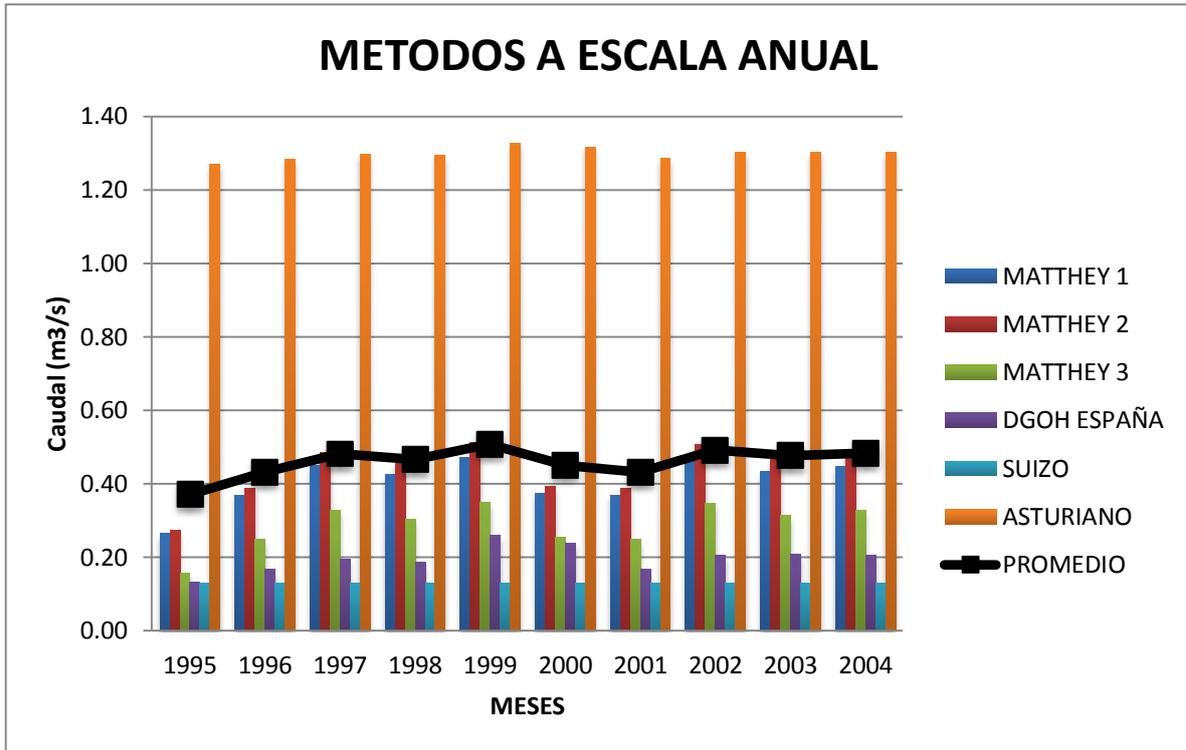


Figura N° 145 Comparación de metodologías a escala anual (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)

Como se muestra en la Figura N° 145, al igual que lo visto en el tramo que involucra al Río Navarco, para este punto se tienen caudales ecológicos bastante altos para el método Asturiano a comparación de los demás métodos a escala anual.

8.4.4 Metodologías a aplicadas en Colombia



8.4.4.1 Método del Q95

Esta metodología describe el mismo comportamiento sustentado anteriormente. De todas formas los caudales ecológicos son demasiado parecidos y su variación es mínima entre los meses. Otro punto a tener en cuenta es que estos caudales son bastante altos comparándolos con la serie histórica de caudales diarios.

Régimen mensual del Q95	
Enero	1.15
Febrero	0.82
Marzo	1.00
Abril	1.27
Mayo	1.55
Junio	1.37
Julio	1.24
Agosto	1.32
Septiembre	1.37
Octubre	1.45
Noviembre	1.64
Diciembre	1.47

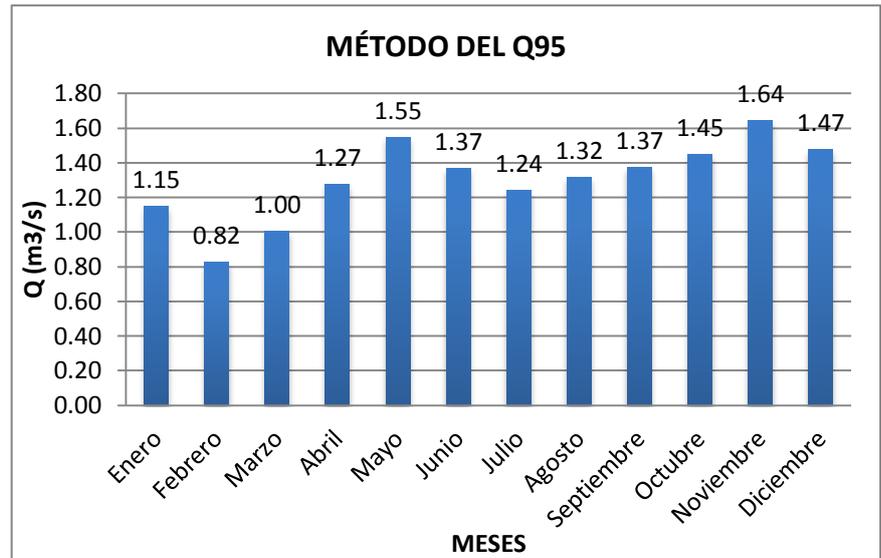


Figura N° 146 Régimen adoptado de caudales mensuales (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) – Q95

8.4.4.2 Método del 7Q10

ANÁLISIS DE FRECUENCIA			
Posición m	Año	7Q Mínimo	Tr
1	1995	0.384	11.00
2	2000	1.146	5.50
3	1996	1.181	3.67
4	2001	1.241	2.75
5	1997	1.483	2.20
6	1998	1.523	1.83
7	2003	1.559	1.57
8	2002	1.610	1.38
9	2004	1.637	1.22
10	1999	1.696	1.10

Tabla N° 78. Análisis de frecuencias (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) – Método del 7Q10

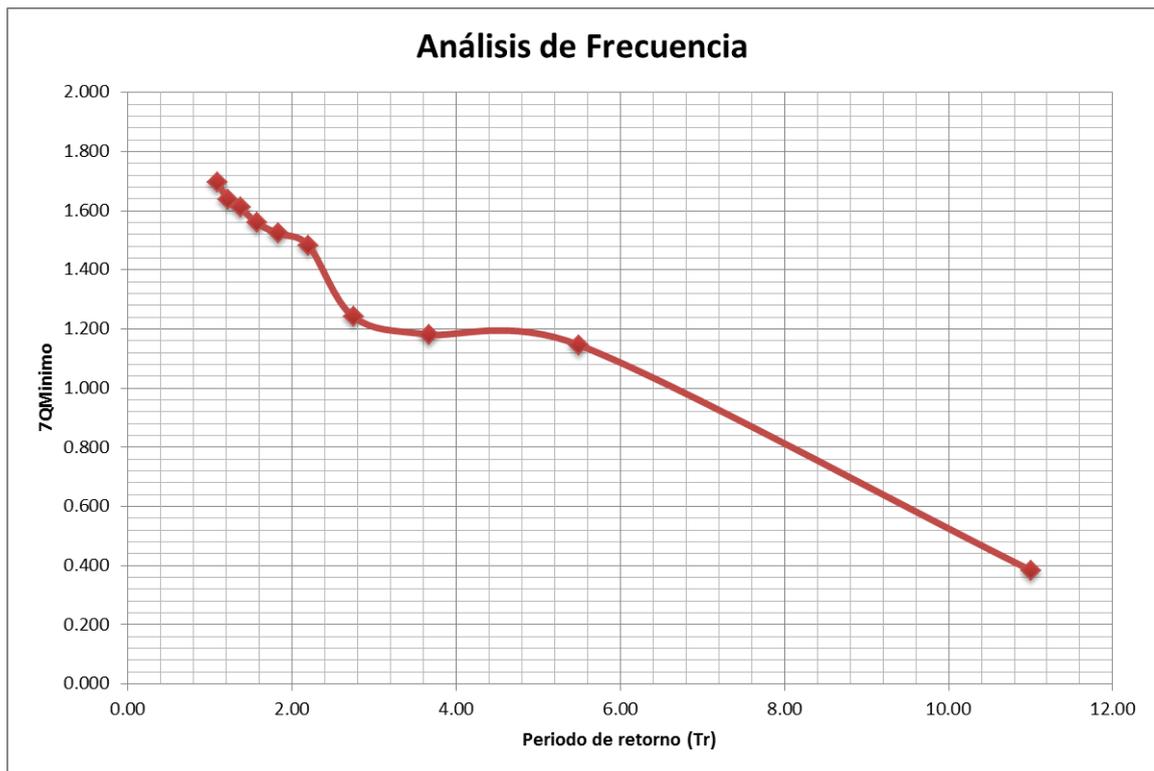


Figura N° 147 Análisis de frecuencias 7Q10 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde)

Por lo tanto:

Valor de 7Q10 (m³/s)
0.52

Para este punto se puede decir que este método no es muy conservador ya que está por debajo del promedio mensual, el cual es el más relevante para nuestro comportamiento hidrológico.



8.4.4.3 Método del IDEAM (2004)

Descuento del 75% Qmin (m³/s)
0.410

Este valor tiene dos inconvenientes: es un valor puntual que no describe el comportamiento normal de la UMC de estudio, y así mismo, este caudal ecológico es demasiado bajo si se tiene en cuenta el caudal circulante por el cauce del río Verde.

8.4.4.4 Método del Estudio Nacional del Agua Q97.5 (2004)

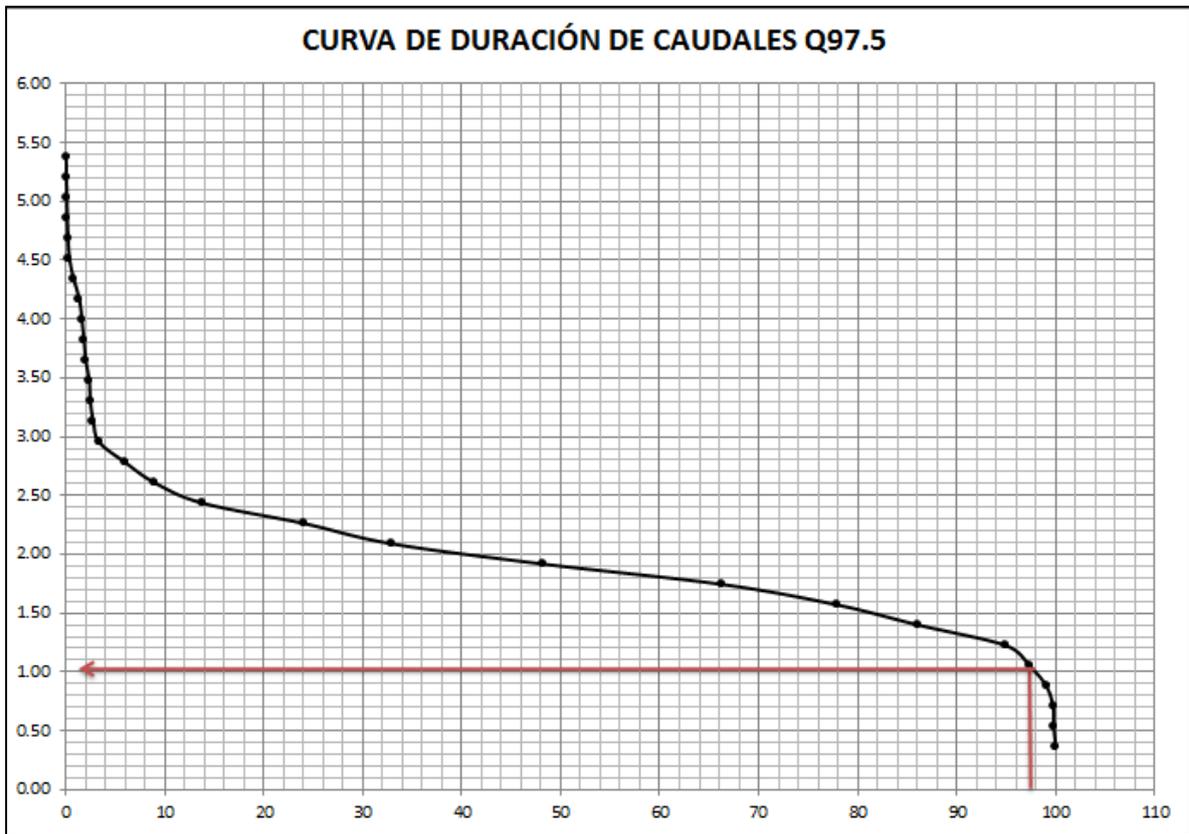


Figura N° 148 Curva de duración de caudales Q97.5 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995-2004

Se obtiene:



Valor anual del Q97.5 (m3/s)
1.035

8.4.4.5 Método del Proyecto Ley de Aguas Q90 (2004)

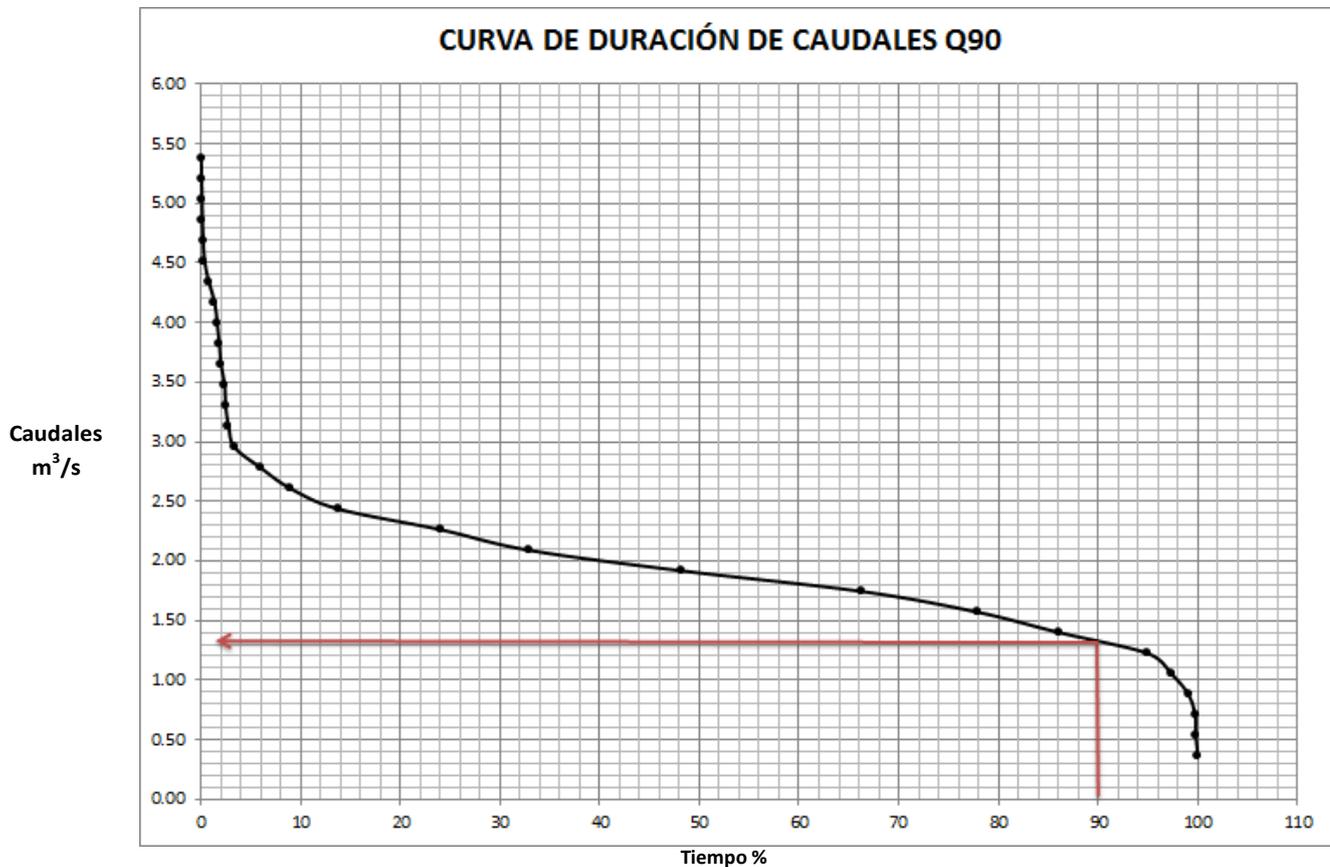
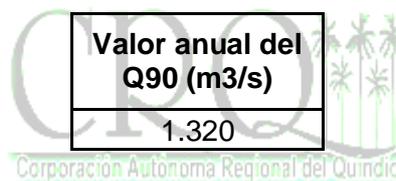


Figura N° 149 Curva de duración de caudales Q90 (Estación limnigráfica Centro Experimental de la Guadua sobre el cauce del Río Verde) 1995-2004

Se obtiene el valor de Q90:



Este valor describe las mismas características propuestas anteriormente.

9.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos de caudales ecológicos para todos los tramos y puntos de estudio, y las condiciones normales de caudal del río a lo largo de la cuenca, es necesario analizar los resultados con el fin de establecer el comportamiento real de la cuenca para los diferentes sectores de esta, teniendo en cuenta a los actores activos que generan impactos en dicho comportamiento.

Este análisis se realiza teniendo en cuenta la información obtenida de caudal en régimen natural, caudal simulado, aforos realizados y el caudal ecológico obtenido mediante el método del Q95, el cual se recomienda utilizar en este estudio, a una escala mensual multianual que representa de mejor manera el régimen hidrológico de la cuenca y las condiciones que se presentan en los diferentes meses del año.

Debido a las condiciones actuales de la cuenca y los actores involucrados, se desarrolla el análisis de resultados en cinco (5) puntos estratégicos de la cuenca (Bocatoma EPA, estación de bombeo de la EPA en la vereda Chagualá, antes de la descarga de la PCH Campestre, Antes de la Bocatoma de La Tebaida en La María y en la estación de Calle Larga), los cuales por su importancia socioeconómica y ambiental representan los puntos de mayor sensibilidad ante los resultados del presente estudio.

Posterior a este análisis se procede a elaborar la herramienta hidroinformática en SIG con los resultados obtenidos de caudales ecológicos.

9.1 ESTACIÓN BOCATOMA EPA – VEREDA EL AGRADO, SALENTO

Este punto es importante porque en este sector se presenta la captación por parte de Empresas Públicas de Armenia (EPA) de un volumen de caudal considerable, el cual en épocas de estiaje fuertes genera un impacto importante en las condiciones hidráulicas y ecológicas. El análisis se realiza con el caudal estimado aguas arriba y aguas abajo de la captación, con el fin de caracterizar de mejor manera el impacto generado por dicha captación.

En la Figura N° 150 se representan cuatro (4) curvas correspondientes a los caudales de estudio mencionados anteriormente. El caudal a régimen natural corresponde al estimado mediante el uso del SSD WEAP, el cual sirve de base para el desarrollo de las metodologías que estiman los caudales ecológicos. El caudal circulante hace alusión al caudal que está quedando aguas debajo de la captación de EPA considerando el caudal captado registrado en la bocatoma, siendo este menor que el caudal concesionado. El caudal ecológico obtenido mediante la metodología del Q95 posee un comportamiento parecido al registrado por el caudal circulante, y en su defecto es mayor al caudal circulante concesionado, el cual tiene en cuenta la demanda total concesionada para Empresas Públicas de Armenia.

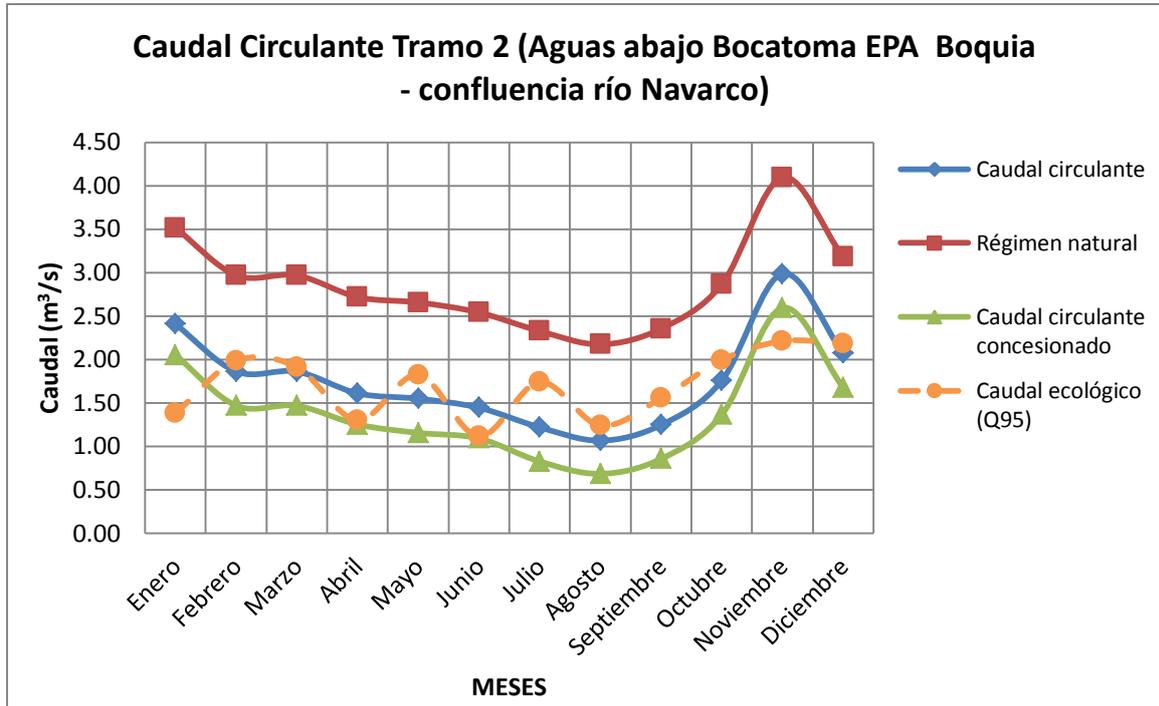


Figura N° 150 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado (aguas abajo de captación) y el caudal ecológico estimado para el punto de Bocatoma EPA

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante (m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)	Q Circulante concesionado (m3/s)
Enero	3.51	2.41	1.38	2.05
Febrero	2.97	1.86	1.98	1.47
Marzo	2.97	1.86	1.91	1.47
Abril	2.72	1.61	1.30	1.25
Mayo	2.66	1.55	1.82	1.16
Junio	2.54	1.45	1.12	1.09
Julio	2.33	1.22	1.74	0.83
Agosto	2.17	1.07	1.24	0.68
Septiembre	2.35	1.25	1.55	0.86
Octubre	2.86	1.76	2.00	1.36
Noviembre	4.09	2.99	2.21	2.59
Diciembre	3.18	2.07	2.18	1.68

Tabla N° 79. Caudales analizados para el punto de Bocatoma EPA

La Figura N° 150 y la Tabla N° 79 evidencian un estrés hídrico generado por la captación de agua de la EPA, el cual tiene un caudal concesionado de 1.5 m³/s.

De acuerdo a los resultados de caudal ecológico y el caudal estimado después de la captación realizada por la EPA, considerando el escenario de captación total del caudal concesionado, se puede apreciar una fuerte afectación hidro-ecológica en la zona, donde para nueve (9) de los doce (12) meses del año, el caudal que queda en el río después de la captación realizada por la EPA no cumple con los caudales ecológicos establecidos en este estudio, siendo el caso más crítico el presentado para el mes de julio, en el cual se tiene una diferencia de 0.89 m³/s. Esto evidencia claramente una afectación de las condiciones biológicas, ecológicas, hidráulicas y morfológicas del río en dicho tramo.

Ahora en el escenario en el que se capta el caudal registrado por dicha bocatoma, los caudales ecológicos se ajustan y poseen un comportamiento muy parecido al caudal circulante aguas abajo de la captación, que, aunque la situación es mejor que en el escenario anterior, igualmente se genera un impacto ambiental alto al no dejar sobre el río un caudal que permita una dinámica adecuada del río y sus ecosistemas.

En este caso es recomendable que en el momento que entre en operación la estación de bombeo de la EPA en la vereda Chagualá del municipio de Calarcá, para los meses que se presenten estiajes fuertes se haga una captación alternada entre la bocatoma ubicada en Salento y dicha estación de bombeo, con el fin de disminuir en gran manera la presión por el recurso hídrico en la bocatoma vereda El Agrado Salento; todo esto acompañado de un programa de uso eficiente del agua y reducción de pérdidas de agua no contabilizada.

9.2 ESTACIÓN DE BOMBEO DE LA EPA – CHAGUALÁ, CALARCÁ

Como se muestra en la Figura N° 151, el caudal ecológico está muy cerca del caudal simulado en SSD WEAP para este tramo del río, estando la mayoría de los meses por debajo del valor simulado. Es de resaltar que para este tramo se tienen valores de caudales ecológicos mayores a los estimados para el tramo de bocatoma EPA, teniendo en cuenta el comportamiento hidrológico, el aporte de caudal hecho por el río Navarco y las características morfológicas y topográficas de la zona.

Los aforos presentados fueron tomados en octubre del 2009, temporada caracterizada por la presencia de un Fenómeno del Niño bastante fuerte, por esta razón dichos caudales son tan bajos comparados con los simulados.

En el momento en que la estación de bombeo comience su funcionamiento se debe priorizar la conservación de los caudales ecológicos establecidos, ya que para este tramo, el caudal simulado (o en condiciones normales) posee valores muy similares a los caudales ecológicos, por lo que una captación importante del recurso en esa zona

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

generaría un impacto importante aguas abajo de dicha captación, similar al que se presenta en la bocatoma EPA en Salento.

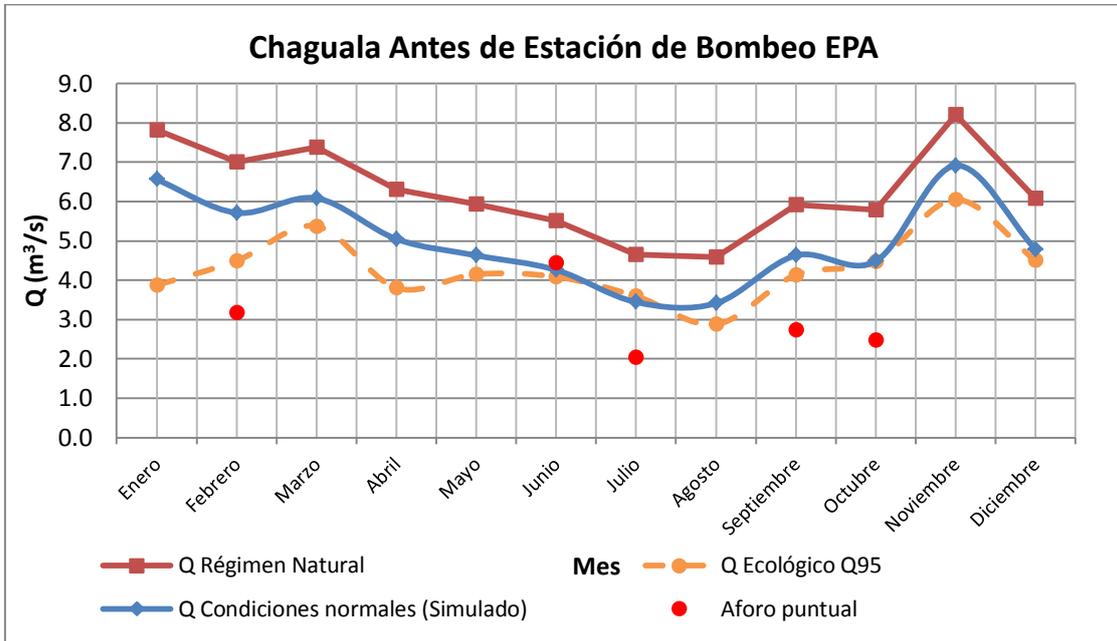


Figura N° 151 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante y el caudal ecológico estimado para el punto de la Estación de bombeo de EPA (Chagualá)

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.70	6.56	3.86
Febrero	6.91	5.71	4.44
Marzo	6.64	6.08	4.83
Abril	6.95	5.05	4.00
Mayo	6.84	4.63	4.18
Junio	5.41	4.26	4.03
Julio	4.63	3.44	3.58
Agosto	2.92	3.41	1.82
Septiembre	2.88	4.63	1.97
Octubre	5.47	4.48	4.34
Noviembre	9.20	6.91	6.70
Diciembre	8.92	4.79	5.11

Tabla N° 80. Caudales analizados para el punto de Estación de bombeo de EPA (Chagualá)

9.3 ANTES DE LA DESCARGA DE LA PCH CAMPESTRE (TRAMO 4)

En este tramo del río se hace la captación de la PCH Campestre, la cual tiene concesionado un caudal de 2.7 m³/s, impactando de forma considerable al río y sus características hidráulicas y biológicas. En este tramo el caudal ecológico está muy por encima del caudal simulado (involucrando el caudal demandado), como se muestra en la Figura N° 152; esto evidencia el estrés hídrico que se presenta en cuenca media, comenzando en la captación de dicha estación. En el caso en que se utiliza el caudal captado registrado por la bocatoma de esta PCH, los caudales circulantes aguas abajo de dicha captación se aproximan mucho más a los estimados para caudales ecológicos, permitiendo así un rango de caudal mucho más flexible con el cual se puede concertar con la autoridad ambiental para el mantenimiento de dichos caudales ecológicos. De todas maneras el impacto que genera esta captación es alto y se debe regular de manera que se mantengan las condiciones bióticas y ecosistemáticas de la fuente.

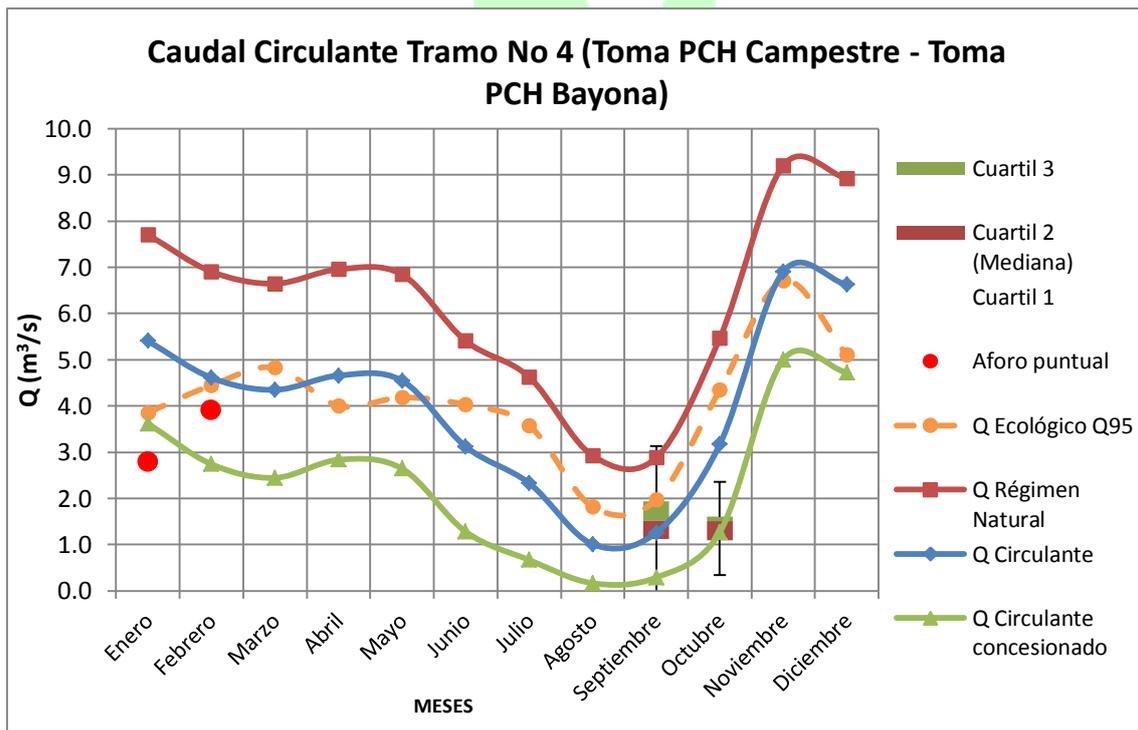


Figura N° 152 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la Descarga de la PCH Campestre

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante(m3/s)	Q Circulante concesionado(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.70	5.40	3.62	3.86
Febrero	6.91	4.61	2.74	4.44
Marzo	6.64	4.35	2.44	4.83
Abril	6.95	4.66	2.84	4.00
Mayo	6.84	4.55	2.64	4.18
Junio	5.41	3.12	1.28	4.03
Julio	4.63	2.33	0.67	3.58
Agosto	2.92	1.01	0.16	1.82
Septiembre	2.88	1.26	0.29	1.97
Octubre	5.47	3.17	1.27	4.34
Noviembre	9.20	6.90	5.00	6.70
Diciembre	8.92	6.62	4.72	5.11

Tabla N° 81. Caudales analizados para el punto de Descarga PCH Campestre

Para este caso los aforos y el análisis hecho de cajas y bigotes mencionado en apartados anteriores coinciden con el comportamiento del caudal simulado, dando esto una menor incertidumbre de la información y los resultados. Aguas abajo de la descarga de la PCH Campestre se presenta la captación de la PCH Bayona, la cual con un caudal concesionado de 2.7 m3/s, imposibilita la recuperación hidráulica del río en este tramo y aguas abajo de este, presentándose este inconveniente en toda la cuenca media.

9.4 ANTES DE LA BOCATOMA DEL MUNICIPIO DE LA TEBAIDA (TRAMO 5)

En este tramo del río se acrecienta la problemática expuesta en el tramo de la captación de la PCH Campestre, debido a que en este sector del río se presentan las captaciones consecutivas de la PCH Bayona, PCH La Unión y la bocatoma del municipio de La Tebaida, impactando de forma drásticas al río y sus condiciones naturales. Aquí es importante resaltar la necesidad de establecer un control a dichas captaciones en épocas de verano para reducir en gran medida el impacto que se genera por estas. También se debe tener presente que el río en este sector, por su cercanía a La María, es usado constantemente para recreación y para la explotación de material de arrastre, acrecentando en mayor medida la afectación de la calidad del recurso hídrico cuando se tienen caudales muy bajos en dicho tramo.

Los aforos de este tramo obedecen, al igual que en el tramo de la PCH Campestre, a una época de Fenómeno del Niño, lo que explica los valores bajos de dichos aforos.

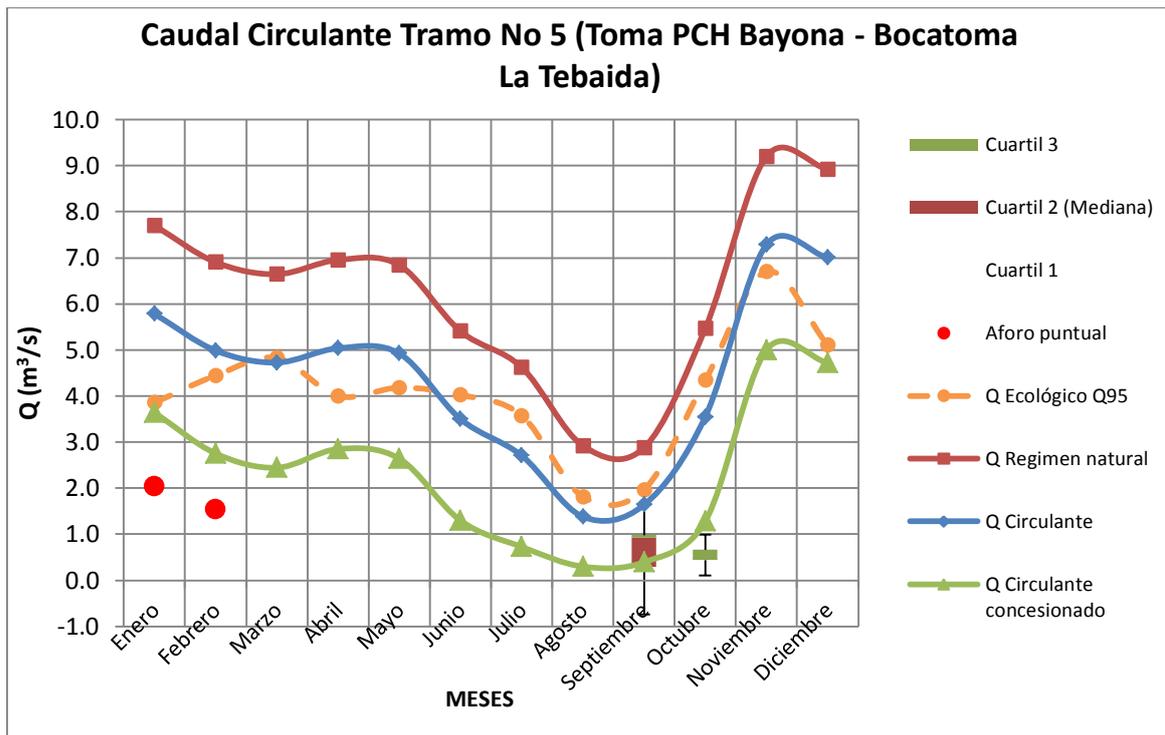


Figura N° 153 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la Bocatoma La Tebaida

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante (m3/s)	Q Circulante concesionado(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.70	5.78	3.64	3.86
Febrero	6.91	4.99	2.75	4.44
Marzo	6.64	4.73	2.44	4.83
Abril	6.95	5.04	2.85	4.00
Mayo	6.84	4.93	2.64	4.18
Junio	5.41	3.50	1.30	4.03
Julio	4.63	2.71	0.73	3.58
Agosto	2.92	1.38	0.30	1.82
Septiembre	2.88	1.64	0.39	1.97
Octubre	5.47	3.55	1.28	4.34
Noviembre	9.20	7.28	5.00	6.70
Diciembre	8.92	7.00	4.72	5.11

Tabla N° 82. Caudales analizados para el punto de Bocatoma La Tebaida

9.5 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA BOCATOMA LA TEBAIDA Y PCH LA UNIÓN (TRAMO 6)

Para este tramo del río se presenta una captación muy importante por parte de la PCH La Unión, dejando al río en épocas de verano con poco caudal y reduciendo la capacidad de autodepuración que permita reducir las cargas contaminantes en tramos ubicados aguas abajo de este punto, haciendo especial énfasis en el tramo inmediatamente posterior a este en el cual se realiza la descarga de vertimientos de las curtiembres. En la Figura N° 154 se evidencia esta problemática.

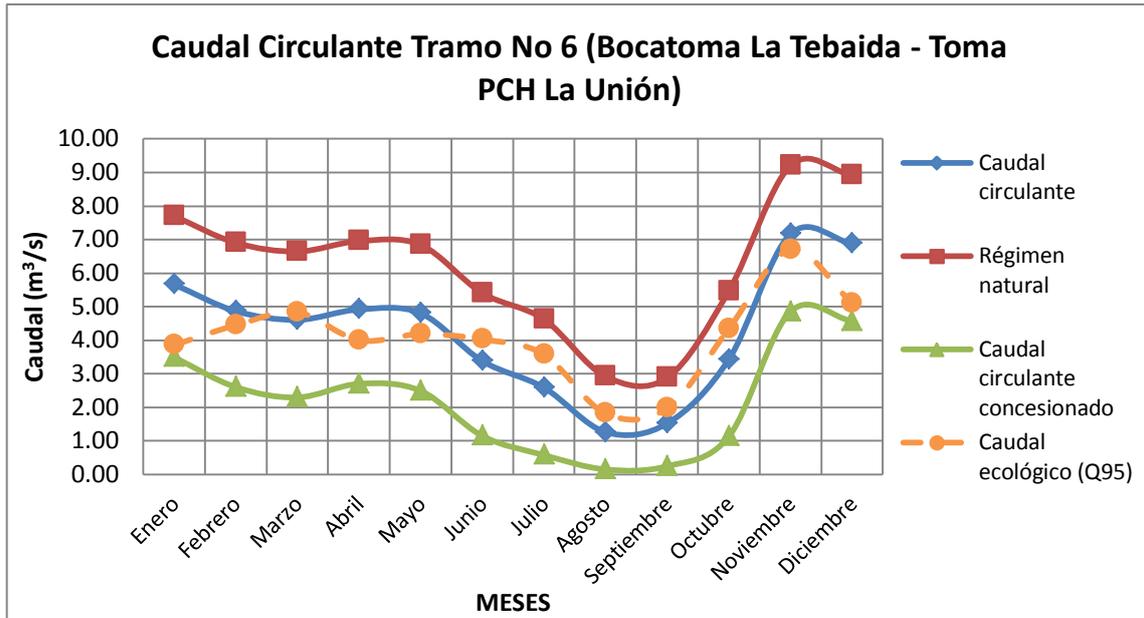


Figura N° 154 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la PCH La Unión

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante (m3/s)	Q Circulante concesionado(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.70	5.66	3.49	3.86
Febrero	6.91	4.87	2.60	4.44
Marzo	6.64	4.61	2.29	4.83
Abril	6.95	4.92	2.70	4.00
Mayo	6.84	4.81	2.49	4.18
Junio	5.41	3.38	1.15	4.03
Julio	4.63	2.59	0.58	3.58
Agosto	2.92	1.26	0.15	1.82
Septiembre	2.88	1.52	0.24	1.97
Octubre	5.47	3.43	1.13	4.34
Noviembre	9.20	7.16	4.85	6.70
Diciembre	8.92	6.88	4.57	5.11

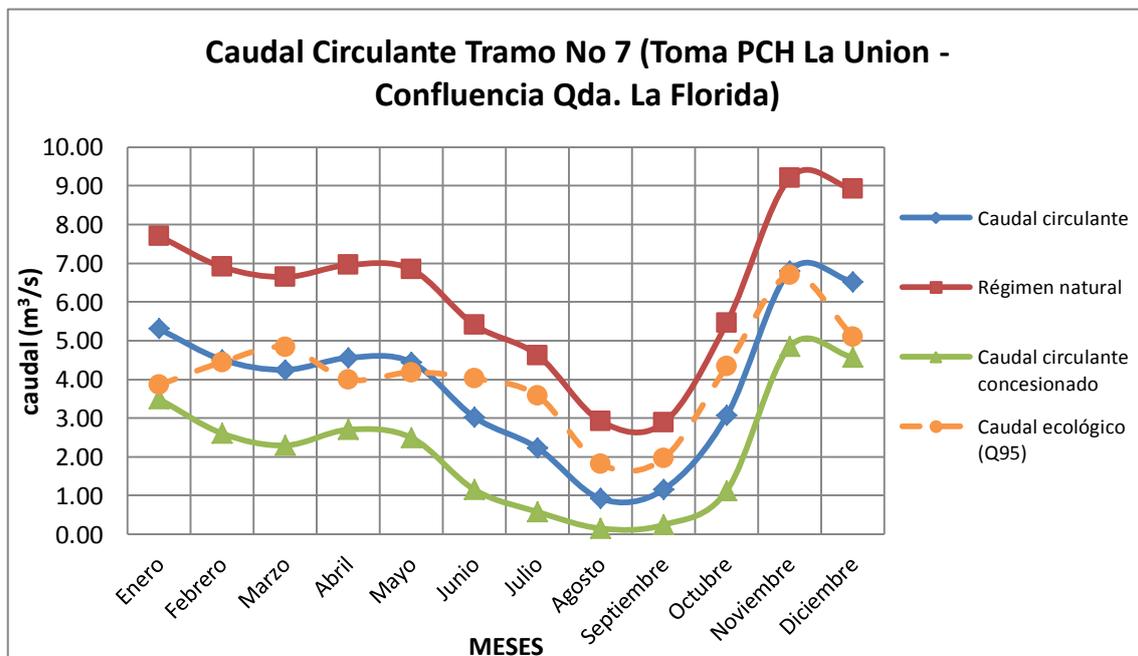
Tabla N° 83. Caudales analizados para el punto de PCH La unión

Claramente se puede observar en la Figura N° 154 la afectación que hay en el río en el caso en que la PCH La Unión llegase a captar el total de agua concesionada (2.7 m³/s), dejando al río prácticamente sin agua en los meses de julio, agosto y septiembre. Otro caso sucede bajo el escenario obtenido a partir de los caudales circulantes registrados realmente, los cuales captan alrededor de 1.2 m³/s menos del caudal concesionado, y que presentan un comportamiento similar a los obtenidos de caudales ecológicos.

Aquí es importante resaltar que se puede llegar a una concertación entre la autoridad ambiental y el usuario una disminución del caudal captado mediante varias estrategias como. Una regla de operación de generación de energía compatible con los requerimientos de caudal ecológico aguas debajo de la captación, campañas de uso eficiente del agua, y acuerdos de disminución de caudal para captar en épocas de estiaje, para así realizar un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico, manteniendo los caudales ecológicos necesarios para los ecosistemas acuáticos en el tramo del río.

9.6 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PCH LA UNIÓN Y LA CONFLUENCIA CON QUEBRADA LA FLORIDA (TRAMO 7)

Igual sucede en el tramo 7, correspondiente al sector comprendido entre la toma de la PCH La Unión y la confluencia con la quebrada La Florida, en la cual no existe un caudal suficiente que permita una adecuada autodepuración de las cargas contaminantes vertidas en este sector del río Quindío.



N° 155 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la confluencia con la quebrada La Florida

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante (m3/s)	Q Circulante concesionado(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.70	5.30	3.49	3.86
Febrero	6.91	4.51	2.60	4.44
Marzo	6.64	4.25	2.29	4.83
Abril	6.95	4.56	2.70	4.00
Mayo	6.84	4.45	2.49	4.18
Junio	5.41	3.02	1.15	4.03
Julio	4.63	2.23	0.58	3.58
Agosto	2.92	0.92	0.15	1.82
Septiembre	2.88	1.16	0.24	1.97
Octubre	5.47	3.07	1.13	4.34
Noviembre	9.20	6.80	4.85	6.70
Diciembre	8.92	6.52	4.57	5.11

Tabla N° 84. Caudales analizados para el punto de confluencia con la quebrada La Florida

9.7 TRAMO COMPRENDIDO ENTRE PCH EL BOSQUE Y CONFLUENCIA CON LA QUEBRADA EL PESCADOR (TRAMO 11)

En este tramo se genera un impacto importante a la dinámica del río, puesto que allí se presenta la captación de la PCH El Bosque, la cual en algunas ocasiones capta más agua de la permitida por la concesión, dejando al río prácticamente sin agua. En la Figura N° 156 se muestra claramente como para los meses caracterizados por épocas de verano, el río prácticamente no tiene un caudal circulante, sea en el escenario de captación del caudal concesionado o para el escenario de captación del caudal registrado real.

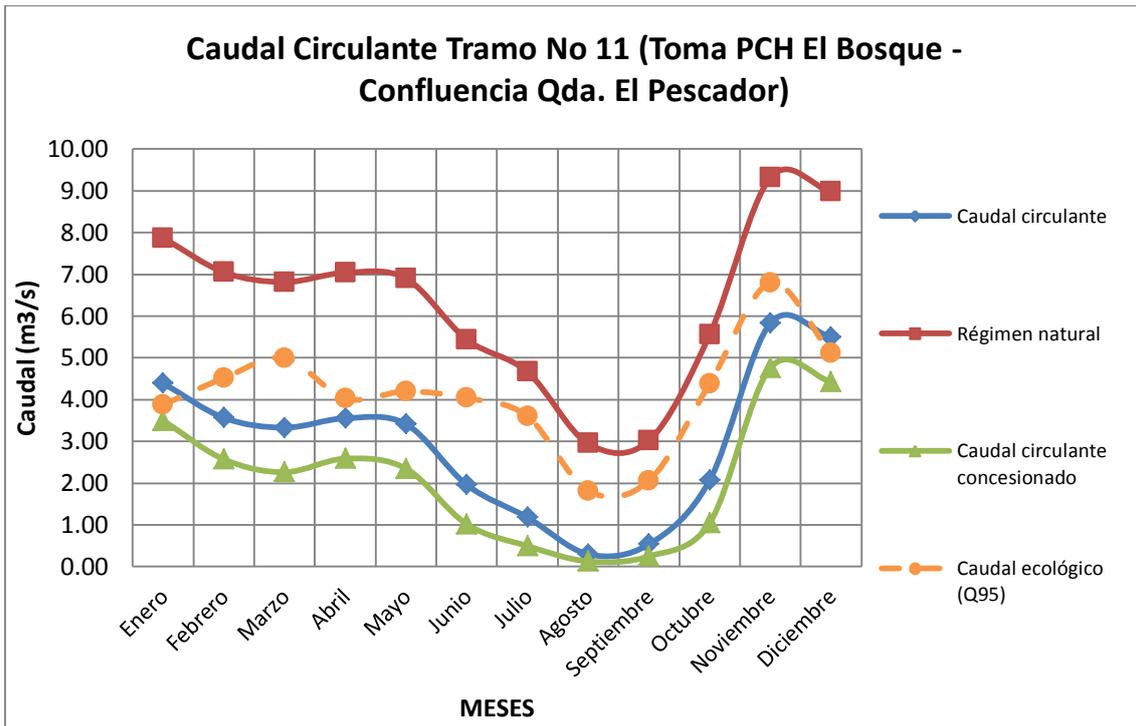


Figura N° 156 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante, caudal circulante concesionado y el caudal ecológico estimado para el punto de la confluencia con la quebrada El Pescador

Mes	Q Régimen Natural (m3/s)	Q Circulante (m3/s)	Q Circulante concesionado(m3/s)	Q Ecológico Q95 (m3/s)
Enero	7.87	4.39	3.50	3.88
Febrero	7.05	3.57	2.57	4.51
Marzo	6.81	3.33	2.26	5.00
Abril	7.04	3.55	2.59	4.03
Mayo	6.90	3.41	2.35	4.20
Junio	5.44	1.96	1.02	4.04
Julio	4.66	1.18	0.50	3.60
Agosto	2.95	0.30	0.13	1.82
Septiembre	3.02	0.54	0.25	2.06
Octubre	5.55	2.07	1.05	4.38
Noviembre	9.31	5.83	4.76	6.79
Diciembre	8.98	5.50	4.43	5.11

Tabla N° 85. Caudales analizados para el punto de confluencia con la quebrada El Pescador

9.8 ESTACIÓN LIMNIGRÁFICA CALLE LARGA

Los resultados obtenidos para este sector del río, el cual comprende la cuenca baja del río Quindío, se caracterizan por mostrar resultados de caudales mayores a los obtenidos en puntos como PCH Campestre y Bocatoma La Tebaida, ubicados en la zona media de dicha cuenca (Ver Figura N° 157). Estos resultados se presentan, como se dijo anteriormente, al supuesto de que existe una interconexión hidráulica entre el acuífero Glacis del Quindío y el río Quindío para este tramo del río, por lo que se presume que en este tramo el río recibe aportes del acuífero, incrementando el caudal circulante.

Los aforos obtenidos en este punto fueron realizados en los meses mencionados pero en años distintos (2004, 2006, 2009 y 2010), lo cual genera rangos de incertidumbre mucho más grandes como se evidencia en los bigotes de la Figura N° 157. Los aforos realizados en el mes de marzo corresponden a los obtenidos en dicho mes en el año de 2010, mes caracterizado por la presencia de un fuerte Fenómeno del Niño en la región, lo que explica los valores tan bajos y la poca coincidencia entre los caudales simulados y los obtenidos de caudales ecológicos. También es importante mencionar que para el mes de septiembre los aforos realizados obedecen a una condición estacional caracterizada por un Fenómeno de La Niña, mostrando así caudales mayores a los que se registran normalmente para este sitio.

No hay restricción alguna para la captación de agua en este punto, si se tiene en cuenta que los caudales circulantes son bastante altos, evitando así alteraciones hidrológicas o ecológicas en ese tramo del río. Se debe hacer mención en que dicho recurso no es apto para uso potable, por la deficiente calidad del agua, producto de vertidos urbanos e industriales en la cuenca media del río. Un posible uso de este recurso en este tramo, lo constituye el uso agrícola sin contacto primario, debido al grado de nutrientes que llevan sus aguas actualmente.

La proximidad de los resultados de caudales de régimen natural, caudal simulado y caudal ecológico obedece a la poca demanda de caudal que existe en esos tramos, por lo que el análisis se centra únicamente en el comportamiento hidrológico y su oferta hídrica (Lluvia-escorrentía) de la cuenca para dichos tramos.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

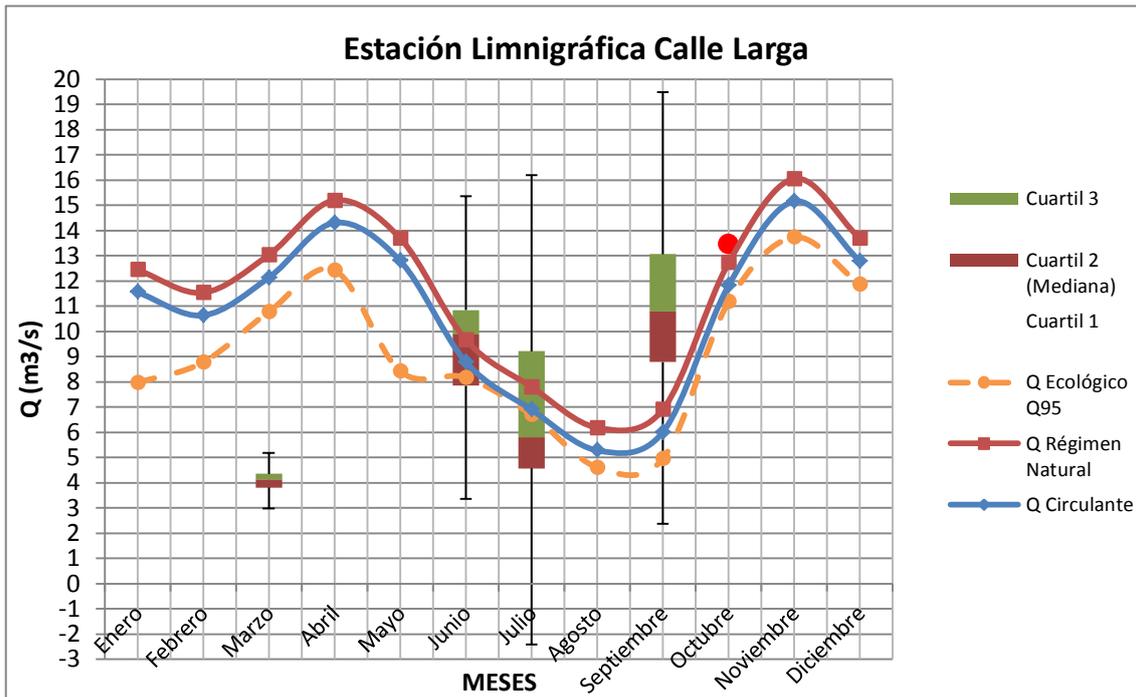


Figura N° 157 Comparación del caudal a régimen natural, caudal real circulante y el caudal ecológico estimado para el punto de la Estación Limnigráfica Calle Larga

Mes	Q Régimen Natural (m³/s)	Q Circulante (m³/s)	Q Circulante concesionado(m³/s)	Q Ecológico Q95 (m³/s)
Enero	12.29	11.50	11.26	7.94
Febrero	11.41	10.62	10.36	8.71
Marzo	12.25	11.47	11.20	10.30
Abril	15.73	14.95	14.71	12.60
Mayo	14.54	13.75	13.49	8.43
Junio	9.52	8.74	8.50	8.09
Julio	7.76	6.98	6.71	6.67
Agosto	4.52	4.11	3.98	3.55
Septiembre	3.84	3.73	3.71	2.70
Octubre	12.28	11.49	11.23	10.98
Noviembre	16.89	16.11	15.84	14.28
Diciembre	16.43	15.65	15.38	12.45

Tabla N° 86. Caudales analizados para el punto de la Estación Limnigráfica Calle Larga

10.0 CONSTRUCCION HERRAMIENTA PARA LA CONSULTA Y GESTION DE CAUDALES ECOLOGICOS Y CONCESIONES DE AGUA EN LA UMC RIO QUINDIO MEDIANTE SIG ARCGIS

En los últimos años los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han venido tomando fuerza en muchas de las áreas del conocimiento, gracias a su versatilidad y capacidad de analizar, editar y consultar información relacionada con un espacio geográfico. En este apartado se presenta la base de datos creada en el Sistema de Información Geográfica ARCGIS Versión 9.3 con enfoque de herramienta Hidroinformática para la consulta de caudales ecológicos en la cuenca del río Quindío; dichos caudales ecológicos han sido estimados mediante metodologías hidrológicas e hidráulicas y se clasificaron según el paso del tiempo (Anuales y Mensuales) y metodologías aplicadas en Colombia.

Con esta base de datos los planificadores del recurso hídrico podrán en cualquier momento realizar consultas, generar reportes y elaborar graficas de la información almacenada referente a caudales ecológicos; así mismo, permite a las autoridades ambientales tener información de los caudales circulantes en los diferentes tramos y/o punto definido de la UMC río Quindío, para la toma de decisión respecto a concesiones de agua.

10.1 CONSTRUCCIÓN ARCHIVOS SHAPE

Los archivos tipo shape (capa temática) fueron construidos con información de diferentes fuentes, las cuales se describen a continuación.

- Plano del departamento del Quindío en formato AutoCAD (.DWG); plano suministrado por el grupo CIDERA de la Universidad del Quindío, este plano se encuentra digitalizado y referenciado con el sistema de coordenadas del observatorio astronómico de Bogotá. El plano digital contiene entidades graficas como: curvas de nivel, límite del departamento, Localización de cabeceras municipales y red hidrográfica.
- Coordenadas geográficas de las estaciones climatológicas y Limnigráficas suministradas por la CRQ.
- Coordenadas geográficas de aprovechamientos y flujos de retorno de mayor interés sobre el cauce del río Quindío, información levantada en campo con navegador GPS. (Magellan 315)

Los Archivos shape creados son los que se relacionan a continuación:

UMC del río Quindío: (Ver Fig. 151)

Nombre capa shape: Cuenca_Quindio

Descripción: Esta capa representa la delimitación de la UMC del río Quindío, fue creada de acuerdo a las curvas de nivel existentes en el plano de AutoCAD.

Área: 732.099 Km²

Perímetro: 157.43 Km

Hidrografía UMC del río Quindío: (Ver Fig. 154)

Nombre capa shape: Hidrografia_Quindio_01

Descripción: Esta capa representa la red hidrográfica de la UMC del río Quindío, en la cual los ríos principales son el río Quindío, río Navarco, río Santo Domingo y río Verde, la capa shape fue creada de acuerdo a la red hidrográfica existentes en el plano de AutoCAD. La Longitud de los ríos principales se presenta en la Tabla N° 87.

RÍO	LONGITUD (km)
Río Quindío	69.88
Río Navarco	24.33
Río Santo Domingo	36.47
Río Verde	26.47

Tabla N° 87 Longitud de ríos principales UMC río Quindío

Sub-Cuencas Río Quindío: (Ver Fig. 155)

Nombre capa shape: Sub_Cuencas_Quindío

Descripción: Esta capa representa las subcuencas de los ríos principales que conforman la UMC del río Quindío, la capa shape fue creada de acuerdo a las curvas de nivel existentes en el plano de AutoCAD. El Área y perímetro se presenta en la Tabla N° 88.

Sub_Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)
Río Boquerón	58.39	39.29
Río Quindío (Alto)	200.55	80.25
Río Navarco	73.1	46.64
Qda. La Florida	6.92	22.38
Río Sto. Domingo	161.06	59.14
Río Verde	133.87	70.31
Río Quindío (Medio)	65.87	79.26
Río Quindío (Bajo)	14.0	23.14
Qda. El Pescador	18.33	23.17

Tabla N° 88. Área y perímetro sub-cuencas UMC río Quindío

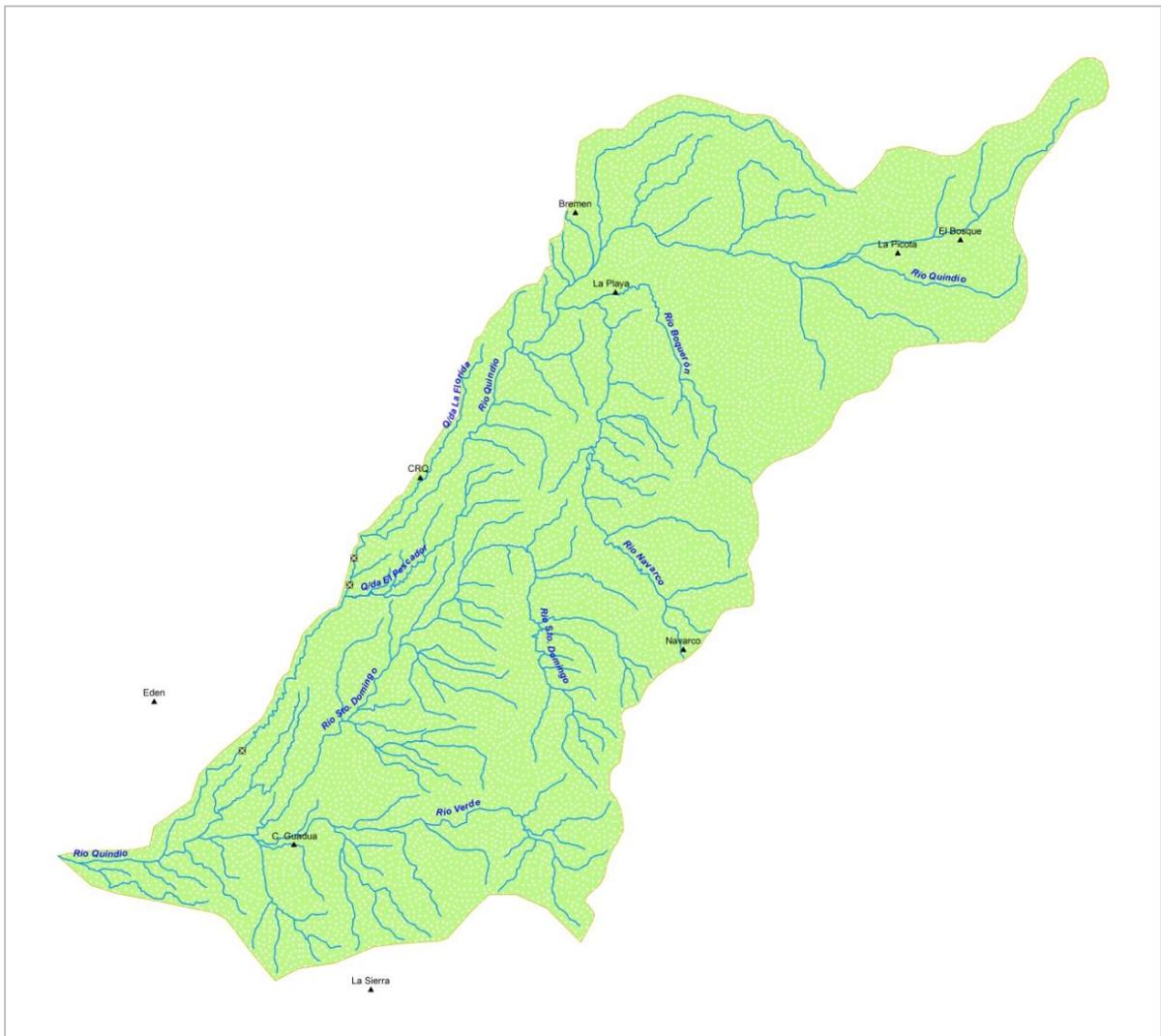


Figura N° 158 Hidrografía Cuenca Río Quindío (Shape)



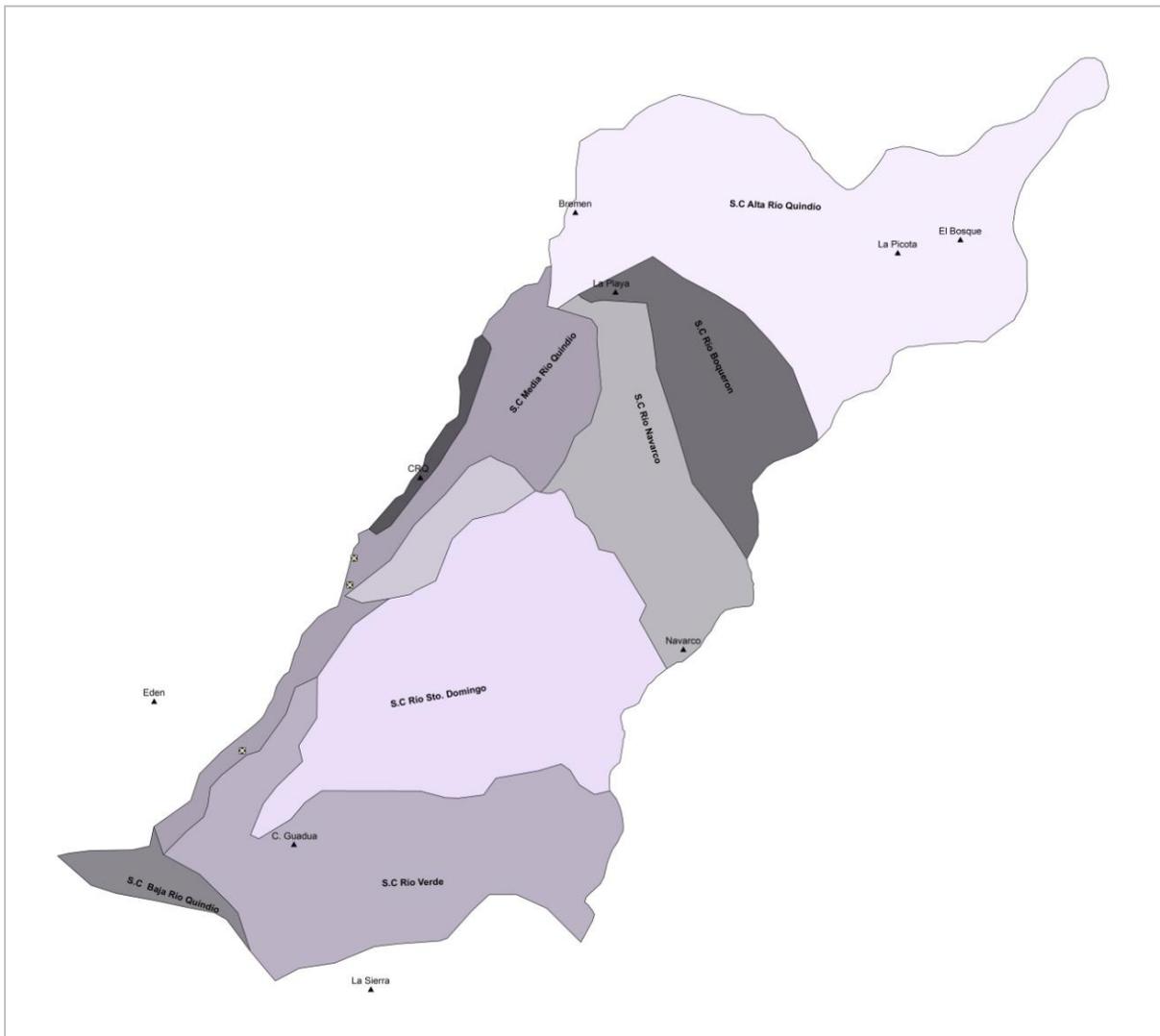


Figura N° 159 Subcuencas Río Quindío (Shape)

Estaciones Climatológicas, Limnigráficas, puntos de captación y puntos de retorno: (Ver Fig. 158)

Nombre capa shape: Estaciones_Clima

Est_Limnigráficas

Ptos_Captaciones

Descripción: Estas capas representan estaciones climatológicas (El Edén, La Sierra, Centro de la Guadua, CRQ, Navarco, La Playa, Bremen, La Picota y el Bosque), estaciones Limnigráficas (Bocatoma EPA, Palestina baja "Navarco", Calle larga, centro de la guadua) y puntos de captación (Bocatoma EPA-Boquia, Bocatoma Tebaida, toma PCH's).

Tramos río Quindío: (Ver Fig. 156)

Nombre capa shape: Tramos_Río_Quindío

Descripción: Esta capa shape representa los tramos en los que fue dividido el río Quindío para el estudio de la estimación de caudal ecológico, estos tramos fueron delimitados físicamente por puntos de interés como las captaciones y los flujos de retornos sobre el cauce del río, cada tramo esta diferenciado por un color.

10.2 GEOREFERENCIACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra geo-referenciado bajo la proyección UTM y el sistema de coordenadas con origen en el observatorio astronómico de Bogotá, cuyas coordenadas geográficas son:

Latitud: 4°35'56.57" N

Longitud: -74°04'51.30" E

Que a su vez corresponden a las coordenadas planas

X: 1'000.000

Y: 1'000.000



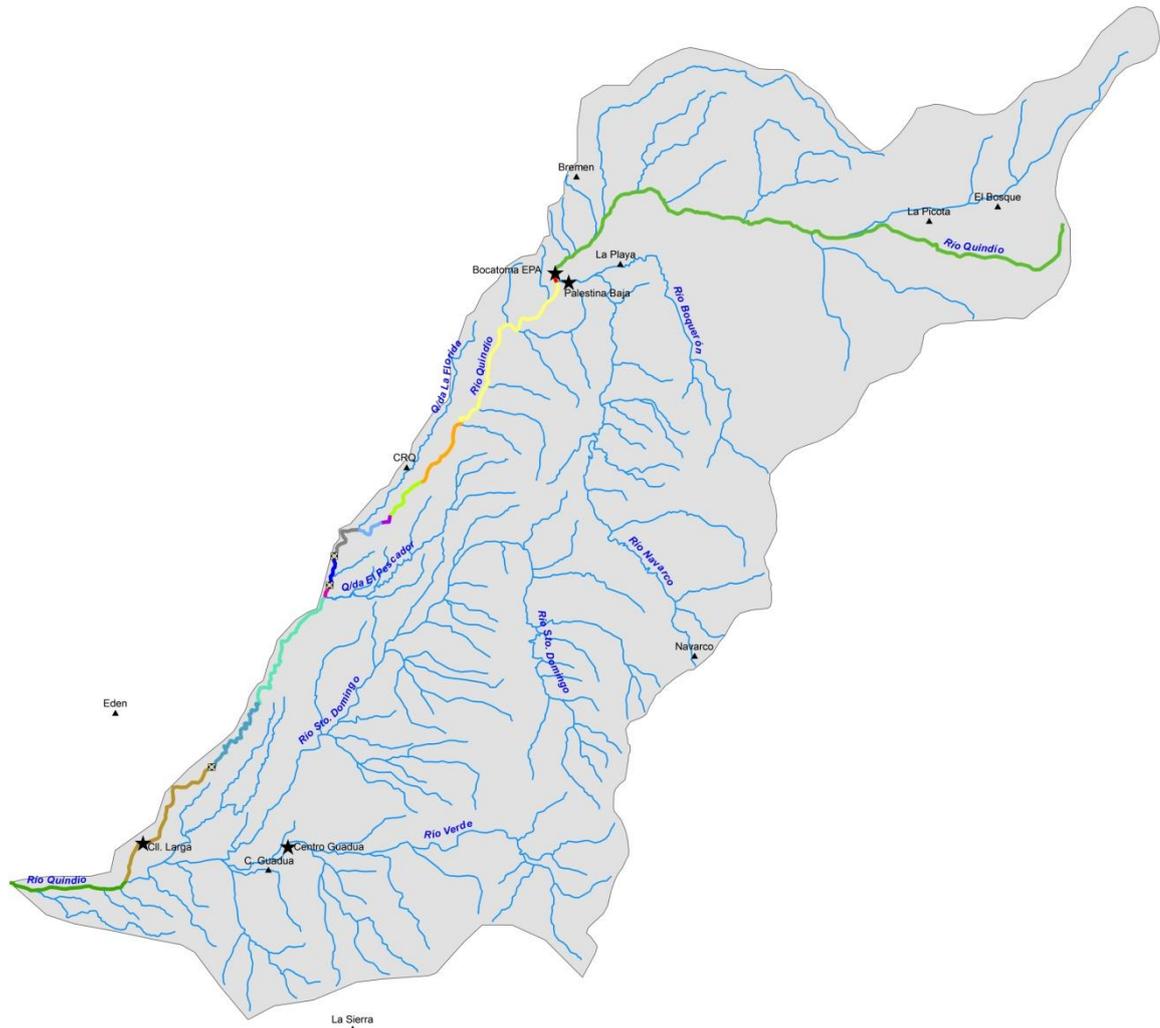


Figura N° 160 Tramos Río Quindío y Estaciones Climatológicas, Limnigráficas Puntos de captación y Sitios de retorno (Shape)

10.3 CONSTRUCCIÓN HERRAMIENTA DE CONSULTA BASE DE DATOS CAUDALES ECOLÓGICOS

La base de datos en ArcGIS Versión 9.3 se construye con la información de los resultados de las diferentes metodologías para la estimación del caudal ecológico en la UMC del río Quindío, estos se dividen en 3 (tres) grupos denominados; metodologías a escala anual, metodologías a escala mensual y metodologías aplicadas en Colombia. Estas metodologías ya han sido explicadas y estimadas anteriormente.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E
HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

Metodologías a escala anual: Estas corresponden a los métodos que se mencionan a continuación: Matthey 1, 2 y 3, DGOH España, Suizo y Asturiano.

Metodologías a escala mensual: Estas corresponden a los métodos que se mencionan a continuación: Texas, Utah, NGPRP, Análisis Frecuencia Caudales (AFC), Navarro, Vasco, Tessman, Q95.

Metodologías aplicadas en Colombia: Estas corresponden a los métodos que se mencionan a continuación: IDEAM (2004), Estudio Nacional del Agua ENA (2004), Proyecto Ley de aguas (2005) y metodología 7Q₁₀.

Como ya se mencionó anteriormente el río fue dividido en diferentes tramos, para cada uno de estos tramos se asocia una tabla que contiene las metodologías ya mencionadas y su correspondiente **caudal ecológico**, el diseño de las tablas es el que se muestra a continuación:

Nombre_1	Unidad_Q	Mes	Texas	Utah	NGPRP	AFC	Navarro	Vasco	Tessman	Q95	Promedio
Río Quindío T1	m ³ /s	Enero	2.080	1.080	0.761	1.740	0.286	0.836	1.590	1.091	1.18
Río Quindío T1	m ³ /s	Febrero	1.780	1.590	1.669	2.854	0.286	0.721	1.440	1.090	1.43
Río Quindío T1	m ³ /s	Marzo	1.190	1.720	1.741	2.716	0.286	0.774	1.370	0.987	1.35
Río Quindío T1	m ³ /s	Abril	1.090	1.140	1.751	1.932	0.286	0.718	1.280	0.972	1.15
Río Quindío T1	m ³ /s	Mayo	1.060	1.750	2.480	1.934	0.286	0.701	1.190	0.971	1.30
Río Quindío T1	m ³ /s	Junio	1.520	0.990	2.271	1.674	0.286	0.703	1.200	0.965	1.20
Río Quindío T1	m ³ /s	Julio	1.400	1.660	2.162	2.126	0.286	0.676	1.170	1.305	1.35
Río Quindío T1	m ³ /s	Agosto	1.300	1.390	1.699	2.422	0.286	0.628	1.150	1.107	1.25
Río Quindío T1	m ³ /s	Septiembre	0.940	1.470	1.683	2.270	0.286	0.665	1.180	1.182	1.21
Río Quindío T1	m ³ /s	Octubre	1.150	1.890	2.445	1.966	0.286	0.753	1.270	1.134	1.36
Río Quindío T1	m ³ /s	Noviembre	1.640	1.940	1.680	1.884	0.286	0.960	1.710	1.101	1.40
Río Quindío T1	m ³ /s	Diciembre	1.920	2.020	1.360	2.368	0.286	0.832	1.420	1.093	1.41
Río Quindío T2	m ³ /s	Enero	2.110	1.120	0.960	3.510	0.290	0.930	1.600	1.420	1.49
Río Quindío T2	m ³ /s	Febrero	1.780	1.590	1.670	2.970	0.290	0.770	1.440	1.980	1.56
Río Quindío T2	m ³ /s	Marzo	1.190	1.720	1.740	2.970	0.290	0.830	1.370	1.910	1.50

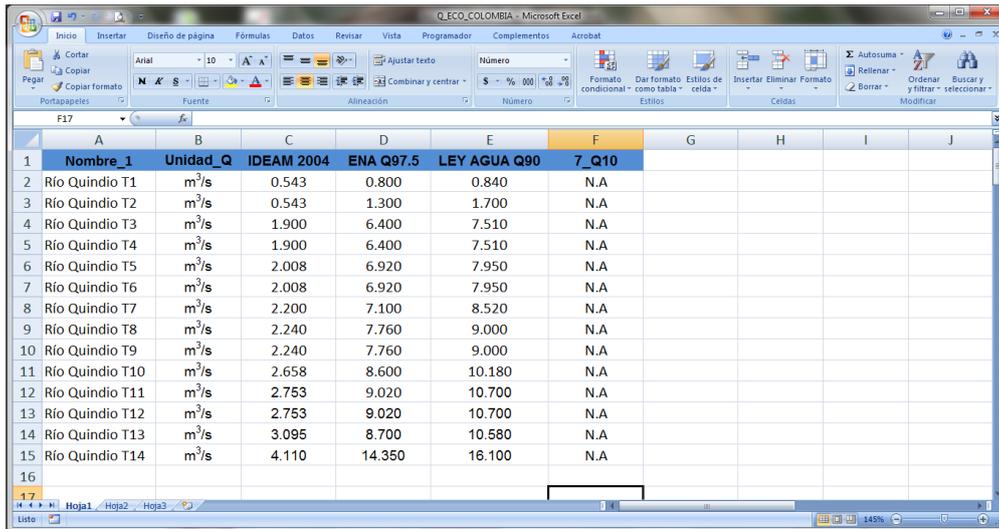
Figura N° 161 Diseño Tabla Metodologías Escala Mensual (ArcGIS V 9.3)

Nombre_1	Unidad_Q	Año	Matthey 1 (Q347)	Matthey 2 (Q347)	Matthey 3 (Q347)	DGOH España	Suizo	Asturiano	Promedio
Río Quindío T1	m ³ /s	1995	0.29	0.30	0.18	0.24	0.13	1.32	0.409
Río Quindío T1	m ³ /s	1996	0.35	0.36	0.23	0.31	0.28	1.35	0.481
Río Quindío T1	m ³ /s	1997	0.32	0.34	0.21	0.26	0.13	1.33	0.431
Río Quindío T1	m ³ /s	1998	0.44	0.48	0.32	0.32	0.28	1.35	0.531
Río Quindío T1	m ³ /s	1999	0.53	0.59	0.41	0.45	0.28	1.41	0.611
Río Quindío T1	m ³ /s	2000	0.44	0.48	0.32	0.35	0.28	1.37	0.539
Río Quindío T1	m ³ /s	2001	0.34	0.35	0.22	0.21	0.13	1.31	0.426
Río Quindío T1	m ³ /s	2002	0.43	0.46	0.31	0.24	0.13	1.32	0.482
Río Quindío T1	m ³ /s	2003	0.36	0.38	0.24	0.22	0.13	1.31	0.439
Río Quindío T1	m ³ /s	2004	0.44	0.48	0.32	0.26	0.13	1.33	0.494
Río Quindío T2	m ³ /s	1995	0.31	0.32	0.20	0.24	0.13	1.32	0.421
Río Quindío T2	m ³ /s	1996	0.35	0.36	0.23	0.31	0.28	1.35	0.481
Río Quindío T2	m ³ /s	1997	0.46	0.51	0.34	0.26	0.13	1.33	0.505
Río Quindío T2	m ³ /s	1998	0.48	0.53	0.36	0.32	0.28	1.35	0.555
Río Quindío T2	m ³ /s	1999	0.65	0.75	0.54	0.45	0.28	1.42	0.679
Río Quindío T2	m ³ /s	2000	0.52	0.58	0.40	0.35	0.28	1.37	0.583
Río Quindío T2	m ³ /s	2001	0.40	0.42	0.28	0.21	0.13	1.31	0.458

Figura N° 162 Diseño Tabla Metodologías Escala Anual (ArcGIS V 9.3)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

Para las tablas con paso de tiempo a escala mensual y anual las columnas A, B y C representan la identificación del tramo, la unidad de caudal y paso de tiempo respectivamente; de la columna D en adelante se representa cada una de las metodologías de estimación de caudal ecológico aplicadas para cada uno de los pasos de tiempo, al final se tiene una columna con el promedio de las metodologías por cada paso de tiempo.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Nombre_1	Unidad_Q	IDEAM 2004	ENA Q97.5	LEY AGUA Q90	7_Q10				
2	Río Quindío T1	m ³ /s	0.543	0.800	0.840	N.A				
3	Río Quindío T2	m ³ /s	0.543	1.300	1.700	N.A				
4	Río Quindío T3	m ³ /s	1.900	6.400	7.510	N.A				
5	Río Quindío T4	m ³ /s	1.900	6.400	7.510	N.A				
6	Río Quindío T5	m ³ /s	2.008	6.920	7.950	N.A				
7	Río Quindío T6	m ³ /s	2.008	6.920	7.950	N.A				
8	Río Quindío T7	m ³ /s	2.200	7.100	8.520	N.A				
9	Río Quindío T8	m ³ /s	2.240	7.760	9.000	N.A				
10	Río Quindío T9	m ³ /s	2.240	7.760	9.000	N.A				
11	Río Quindío T10	m ³ /s	2.658	8.600	10.180	N.A				
12	Río Quindío T11	m ³ /s	2.753	9.020	10.700	N.A				
13	Río Quindío T12	m ³ /s	2.753	9.020	10.700	N.A				
14	Río Quindío T13	m ³ /s	3.095	8.700	10.580	N.A				
15	Río Quindío T14	m ³ /s	4.110	14.350	16.100	N.A				
16										
17										

Figura N° 163 Diseño Tabla Metodologías Aplicadas en Colombia (ArcGIS V 9.3)

Para las metodologías aplicadas en Colombia las Columna A representa el tramo del río Quindío y/o la estación limnigráfica, la columna B representa la unidad del caudal ecológico, de la columna C en adelante se presenta cada una de las metodologías con su respectivo valor. La metodología 7Q10 no aplica para los tramos, ya que esta metodología requiere registros de caudales diarios y para los tramos solo se cuenta con registros medios mensuales, registros con los cuales cuentan las estaciones Limnigráficas.

10.3.1 Procedimiento para consulta de caudales ecológicos en la base de datos de ArcGIS

Para la consulta de los caudales ecológicos en la base de datos en ArcGIS se han planteado dos procedimientos, uno se realiza utilizando manejo y relaciones de Tablas de Atributos en formato dbase, formato exclusivo de ArcGIS. El otro procedimiento es utilizando hipervínculos con tablas de M.S Excel.

A continuación se explica el procedimiento a seguir para realizar la consulta de los caudales ecológicos en la base de datos de la herramienta informática ArcGIS.

10.3.1.1 Procedimiento con Relación de Tablas .dbase

Paso 1: Abrir el programa ArcMap de ArcGIS. Hacer clic en el acceso directo en el escritorio o desde menú **Inicio\Todos los programas\ArcGIS\ArcMap**. Se despliega la interface de usuario de ArcMap tal como se muestra en la Figura N° 164.

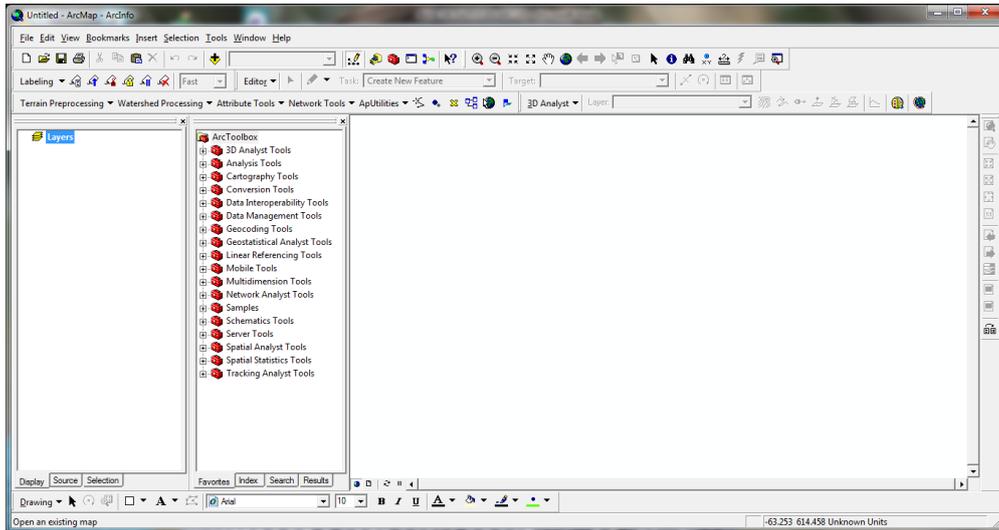


Figura N° 164 Interface ArcMap(ArcGIS V 9.3)

Paso 2: Abrir el proyecto. Hacer clic en **File\Open**; en la ventana que se despliega buscamos la ruta donde se encuentra el proyecto, normalmente en la carpeta --⁷:**PROY. CAUDALES ECOLOGIS\Cuenca Río Quindio.mxd**. Al abrir el proyecto se observa la UMC del río Quindío con las diferentes capas que la conforman tal como se observa en la Figura N° 165.

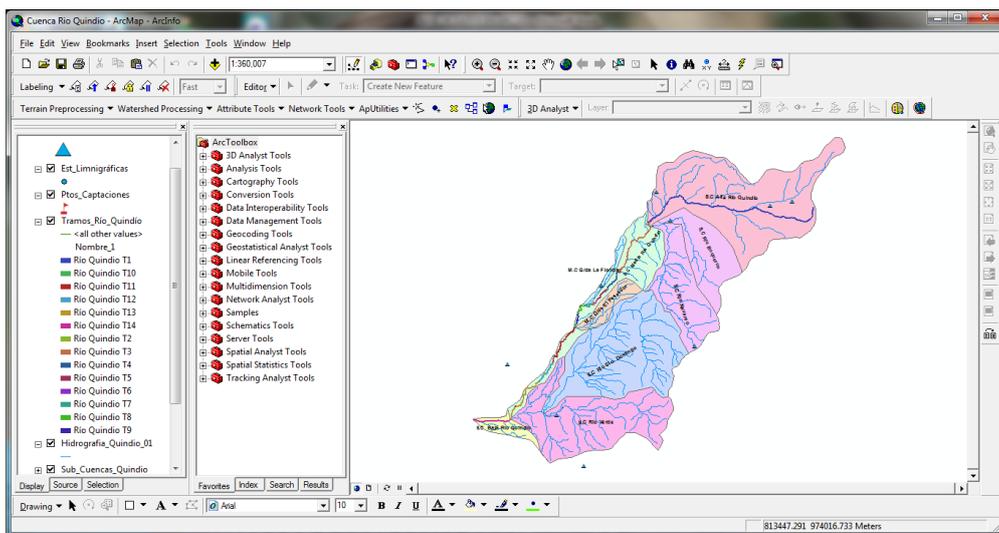


Figura N° 165 Interface ArcMap-UMC del río Quindío (ArcGIS V 9.3)

⁷ -- Corresponde a la unidad de disco duro del PC donde se guardó el proyecto (C:, D:, F:, etc.).

Paso 3: Consultar caudales ecológicos en el tramo o estación limnigráfica de interés; esto se realiza mediante el siguiente subproceso:

3a. En la capa Shape “Tramos_Río_Quindío” ó “Est_Limnigráficas” Hacer clic con el botón derecho del mouse y seleccionamos **abrir tabla de atributos**. Se despliega la tabla de atributos tal como se observa en la imagen.

FID	Shape	Entity	Handle	Layer	Elevation	RefName	Nombre_1
0	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T13
1	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T1
2	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T2
3	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T3
4	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T4
5	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T5
6	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T6
7	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T7
8	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T8
9	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T9
10	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T10
11	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T11
12	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T12
13	Polyline ZM	Polyline	6D	RIOS-PPALES	0	Río Quindío	Río Quindío T14

Figura N° 166 Tabla de atributos capa Tramos_Río_Quindío(ArcGIS V 9.3)

3b. Seleccionamos el tramo de interés haciendo clic sobre la casilla ubicada a la izquierda del campo **FID**, al realizar esta selección la fila queda resaltada en color azul claro; los tramos se identifica bajo el campo **Nombre_1**, para este ejemplo seleccionamos el Tramo 1.

3c. Dar clic en la pestaña **opciones**, ubicada en la parte inferior derecha de la tabla de atributos, seleccionar **Related Tables**, allí se despliega una lista con las tablas relacionadas que contienen los resultados de los caudales ecológicos. (Figura N° 167).

3d. Seleccionar la tabla de interés; se tienen 3 (tres) opciones, metodologías a escala anual y mensual y metodologías aplicadas en Colombia. En este ejemplo seleccionamos metodologías a escala mensual, se despliega la tabla relacionada que contiene toda la información de caudales ecológicos para cada uno de los tramos; para observar los caudales que corresponden al tramo seleccionado damos clic en el botón **Selected** en la parte inferior de la tabla de atributos relacionada, la tabla se observa como la Figura N° 168.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

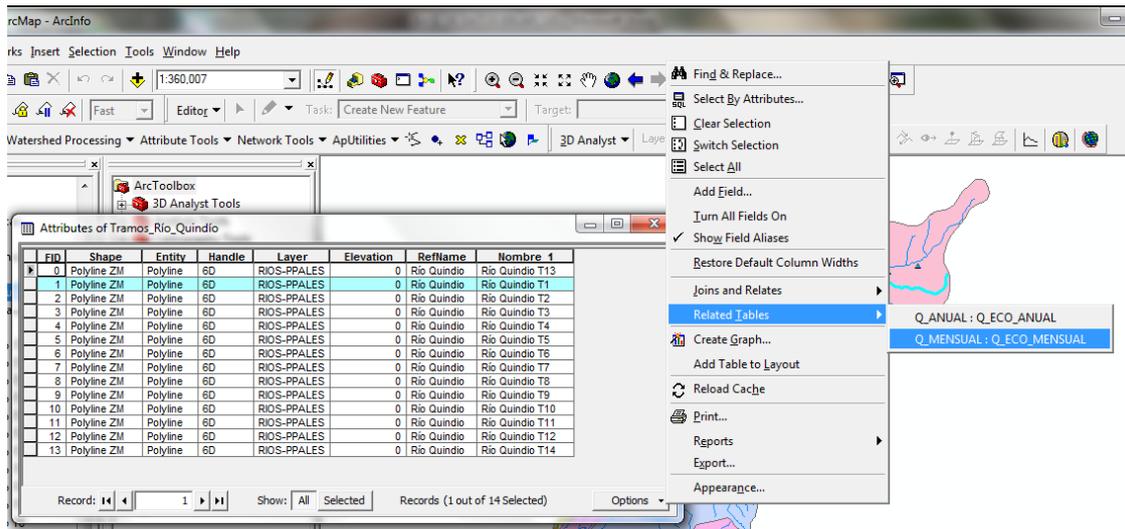


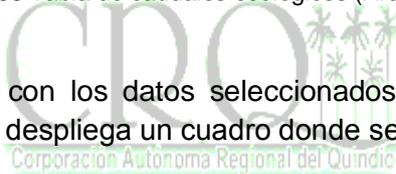
Figura N° 167 Selección de las tablas con caudales ecológicos (ArcGIS V 9.3)

The screenshot shows the 'Selected Attributes of Q_ECO_MENSUAL' table with 12 records selected. The table includes columns for OID, Nombre_1, Unidad Q, Mes, and various flow measurement parameters.

OID	Nombre_1	Unidad Q	Mes	Texas	Utah	NGPRP	AFC	Navarro	Vasco	Tessman	Q95	Promedio
0	Río Quindio T1	m3/s	Enero	2.08	1.08	0.761	1.74	0.286	0.836	1.59	1.091	1.183
1	Río Quindio T1	m3/s	Febrero	1.78	1.59	1.669	2.854	0.286	0.721	1.44	1.09	1.429
2	Río Quindio T1	m3/s	Marzo	1.19	1.72	1.741	2.716	0.286	0.774	1.37	0.988	1.348
3	Río Quindio T1	m3/s	Abril	1.09	1.14	1.751	1.932	0.286	0.718	1.28	0.973	1.146
4	Río Quindio T1	m3/s	Mayo	1.06	1.75	2.48	1.934	0.286	0.701	1.19	0.971	1.296
5	Río Quindio T1	m3/s	Junio	1.52	0.99	2.271	1.674	0.286	0.703	1.2	0.966	1.201
6	Río Quindio T1	m3/s	Julio	1.4	1.66	2.162	2.126	0.286	0.676	1.17	1.305	1.348
7	Río Quindio T1	m3/s	Agosto	1.3	1.39	1.699	2.422	0.286	0.628	1.15	1.107	1.248
8	Río Quindio T1	m3/s	Septiembre	0.94	1.47	1.683	2.27	0.286	0.665	1.18	1.182	1.21
9	Río Quindio T1	m3/s	Octubre	1.15	1.89	2.445	1.966	0.286	0.753	1.27	1.134	1.362
10	Río Quindio T1	m3/s	Noviembre	1.64	1.94	1.68	1.884	0.286	0.96	1.71	1.101	1.4
11	Río Quindio T1	m3/s	Diciembre	1.92	2.02	1.36	2.368	0.286	0.832	1.42	1.093	1.412

Figura N° 168 Tabla de caudales ecológicos (ArcGIS V 9.3)

3e. Generar una gráfica con los datos seleccionados, se da clic en la pestaña **Options\CreateGraph...**, se despliega un cuadro donde se configura la gráfica.



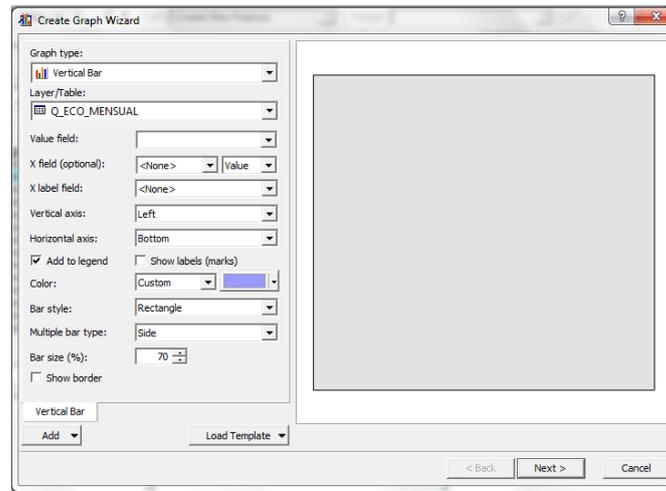


Figura N° 169 Configuración de graficas (ArcGIS V 9.3)

- **GraphType:** en esta pestaña se selecciona el tipo de grafica para la representación de los datos, en este caso barras verticales.
- **Layer\Table:** Se selecciona la tabla en formato dbase o la capa Shape de la cual se obtendrán los datos a graficar, normalmente aparece por defecto la tabla con la que se está trabajando.
- **Value Field:** Se selecciona el campo de la tabla que contiene los datos a graficar, puede ser cualquiera de las metodologías o el promedio de las mismas, para este caso se toma el promedio.
- **X Field (Optional):** Se selecciona <None>
- **X Label Field:** Se selecciona mes
- **Vertical axis:** se deja por defecto Left
- **Horizontal axis:** se deja por defecto Bottom
- Desactivar la casilla **addtolegendy** activar la casilla **showlabels (marks)**, se hace clic en siguiente "Next".
- Activamos la opción **show onlyselectedfeatures/records onthegraph** "mostrar solo los datos seleccionados en la gráfica".
- **Title:** En esta casilla damos el título a la gráfica, para este caso PROMEDIO Q_ECO_MENSUAL.
- **Footer:** "pie de página" En esta casilla se puede poner una breve descripción de la gráfica.
- **Axis properties:** seleccionar la pestaña left y en la casilla title escribir el título del eje vertical para el caso de los caudales poner "Q_(m3/s)"
- Dar clic en **finish** y tendremos la gráfica configurada como se observa en la imagen.

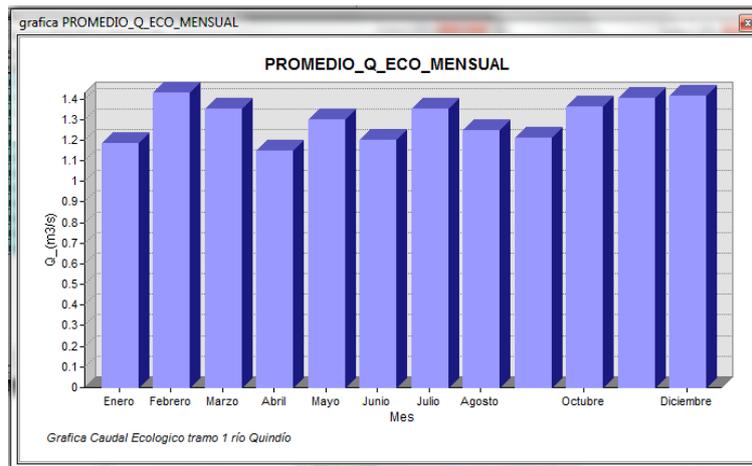


Figura N° 170 Grafico Q_ECO_Mensual(ArcGIS V 9.3)

Dando clic derecho con el mouse sobre la grafica se despliega un menu con varias opciones que nos permiten imprimir, guardar, copiar, exportar, etc.

3f. Consultar reportes, el usuario ó planificador de recursos hídricos podra consultar o crear los reportes correspondientes a cada una de las metodologias o varias de ellas, como se indica a continuacion. Desde la tabla de atributos relacionada que se desplego en el paso **3d** en la pestaña **Options\Reports\Create Report**. Se despliega una ventana para la configuracion del reporte como se muestra en la imagen.

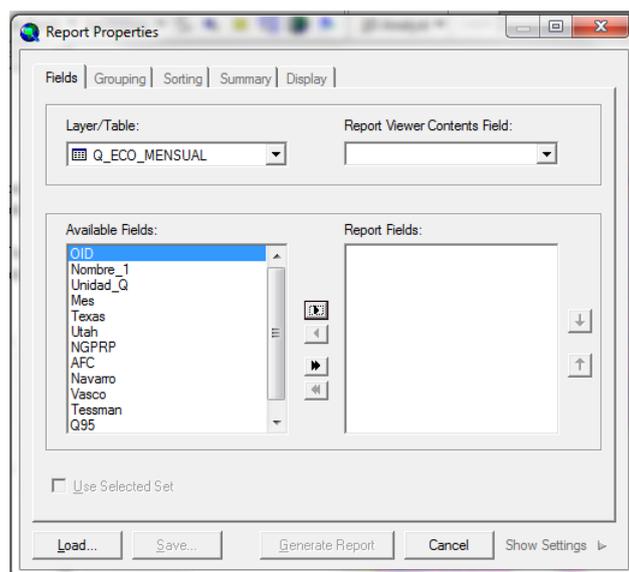


Figura N° 171 Ventana de configuración de reportes (ArcGIS V 9.3)

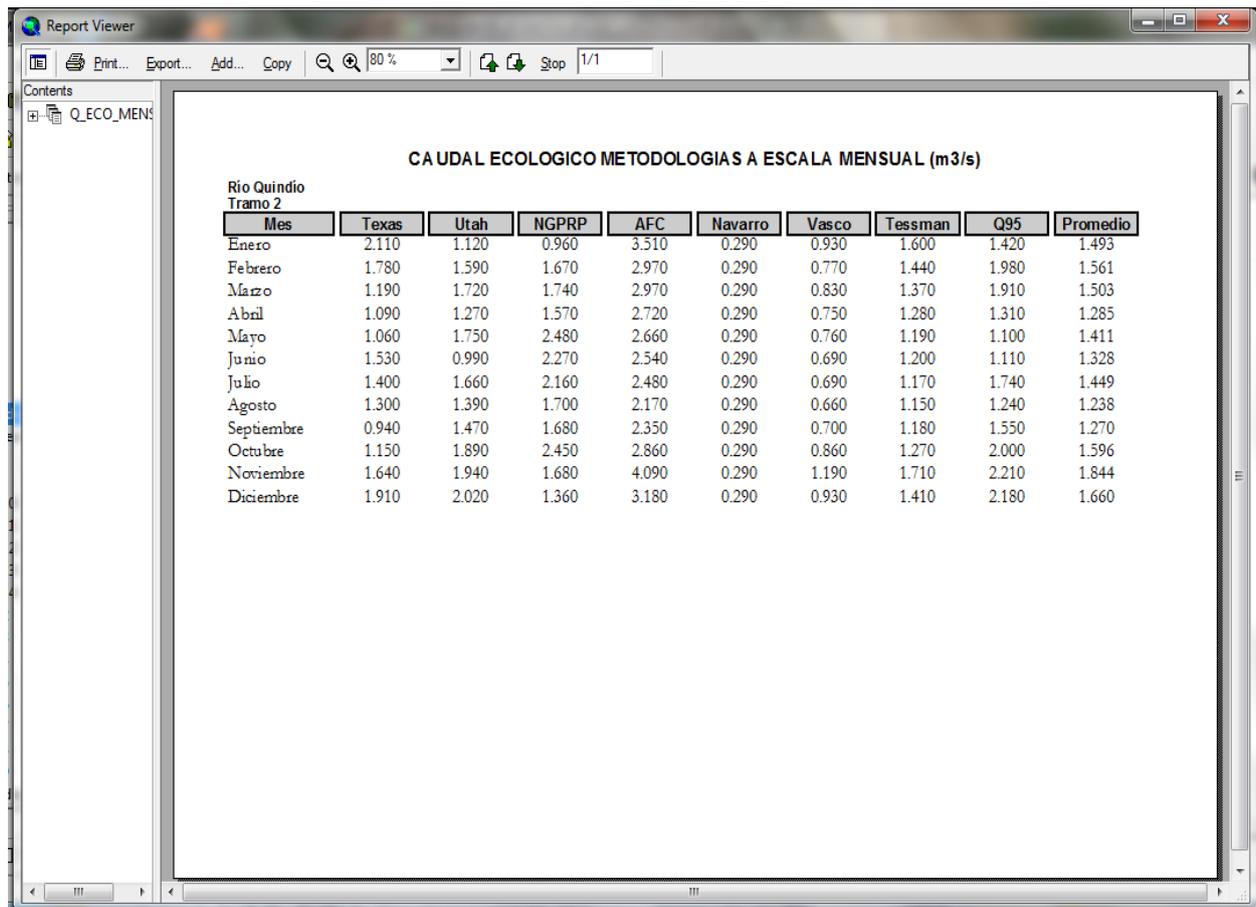
- **Fields:**
 - *Layer/Table:* Seleccionar la capa o la tabla de la que se desea crear el reporte.
 - *Available Fields:* Es la lista de los campos disponibles para generar reportes.
 - *Report Fields:* Son los campos seleccionados para generar el reporte, el usuario puede seleccionar 1 (uno) o varios campos y pasarlos de la ventana izquierda a la ventana derecha. Para las metodologías con paso de tiempo mensual y anual es importante incorporar el campo que contiene el paso del tiempo, para las metodologías aplicadas en Colombia es importante el campo que contiene el nombre de la metodología y su respectivo valor.
- **Grouping:** en esta pestaña se puede seleccionar el campo por el cual se agruparán los datos. Normalmente dejar por defecto.
- **Sorting:** clasificación, se deja por defecto.
- **Summary:** Resumen, en esta pestaña el usuario ó planificador puede seleccionar una o varias de las opciones estadísticas disponibles para cada campo como lo son el promedio, valor máximo y mínimo, desviación estándar, suma, entre otros.
- **Display:** en esta ventana se configura la página y la manera en que se presentará el reporte.

Los reportes ya han sido creados y se pueden consultar ingresando por el menú **Tools\Reports>Create Report**. Hacer clic en el botón **Load** de la ventana de configuración de reportes, se selecciona la ruta adecuada dependiendo del reporte que se quiera consultar, las rutas de los archivos son las siguientes:

- --:⁸\PROY. CAUDALES ECO\GIS\Q_eco_resumen\Q_ECO_MESNSUAL (Metodologías a escala mensual).
- --:⁸\PROY. CAUDALES ECO\GIS\Q_eco_resumen\Q_ECO_ANUAL (Metodologías a escala anual).
- --:⁸\PROY. CAUDALES ECO\GIS\Q_eco_resumen\Q_ECO_COLOMBIA (Metodologías aplicadas en Colombia).

Cuando se consulta el reporte este se puede imprimir, exportar, copiar, etc. el reporte se debe ver como en la Figura N° 172.

⁸-- Corresponde a la unidad de disco duro del PC donde se guardó el proyecto (C:, D:, F:, etc.).



CA UDAL ECOLOGICO METODOLOGIAS A ESCALA MENSUAL (m3/s)

Río Quindío
Tramo 2

Mes	Texas	Utah	NGPRP	AFC	Navarro	Vasco	Tessman	Q95	Promedio
Enero	2.110	1.120	0.960	3.510	0.290	0.930	1.600	1.420	1.493
Febrero	1.780	1.590	1.670	2.970	0.290	0.770	1.440	1.980	1.561
Mázo	1.190	1.720	1.740	2.970	0.290	0.830	1.370	1.910	1.503
Abril	1.090	1.270	1.570	2.720	0.290	0.750	1.280	1.310	1.285
Mayo	1.060	1.750	2.480	2.660	0.290	0.760	1.190	1.100	1.411
Junio	1.530	0.990	2.270	2.540	0.290	0.690	1.200	1.110	1.328
Julio	1.400	1.660	2.160	2.480	0.290	0.690	1.170	1.740	1.449
Agosto	1.300	1.390	1.700	2.170	0.290	0.660	1.150	1.240	1.238
Septiembre	0.940	1.470	1.680	2.350	0.290	0.700	1.180	1.550	1.270
Octubre	1.150	1.890	2.450	2.860	0.290	0.860	1.270	2.000	1.596
Noviembre	1.640	1.940	1.680	4.090	0.290	1.190	1.710	2.210	1.844
Diciembre	1.910	2.020	1.360	3.180	0.290	0.930	1.410	2.180	1.660

Figura N° 172 Presentación reportes de metodologías para la estimación de caudales ecológicos en la UMC del río Quindío (ArcGIS V 9.3)

10.3.1.2 Procedimiento con Hipervínculos

A continuación se expone otro procedimiento para realizar la consulta de los resultados de las metodologías aplicadas en la estimación de caudales ecológicos en la UMC del río Quindío, este se desarrolla con la utilización de hipervínculos. Es una forma muy fácil en la cual el planificador puede consultar los resultados del proyecto dando clic sobre el tramo de interés.

Paso 1: Abrir el programa ArcMap de ArcGIS. Hacer clic en el acceso directo en el escritorio o desde menú **Inicio\Todos los programas\ArcGIS\ArcMap**. Se despliega la interfaz de usuario de ArcMap. (Ver Figura N° 164).

Paso 2: Abrir el proyecto. Hacer clic en **File\Open**; en la ventana que se despliega buscamos la ruta donde se encuentra el proyecto, normalmente en la carpeta -- **:\PROY. CAUDALES ECO\GIS\Cuenca Río Quindío.mxd**. Al abrir el proyecto se

observa la UMC del río Quindío con las diferentes capas que la conforman. (Ver Figura N° 165).

Paso 3: Consultar caudales ecológicos en el tramo y/o estación limnigráfica de interés; esto se realiza mediante el siguiente subrutina.

3a Hacer clic en el icono ó simbolo de hipervinculo “rayo amarillo”  en la barra de herramientas.

3b El cursor del mouse debe aparecer con la forma de rayo, dirigirse al tramo y/o estación limnigráfica de interes y dar clic sobre el mismo, en este caso seleccionamos el tramo 1 (uno). En ocasiones se debiera hacer un acercamiento “Zoom” del tramo o Estación para realizar una adecuada selección.

3c se despliega una ventana de hipervinculos, seleccionar el hipervinculo que se desee (metodologias mensuales, anuales o aplicadas en Colombia), se da doble clic o clic sobre el boton **Jump**. Inmediatamente se despliega una hoja de M.S Excel donde se encuentran los resultados de las diferentes metodologias aplicadas para la estimacion de caudales ecologicos en la UMC del río Quindío con sus respectivas graficas. Como ejemplo se selecciona el hipervinculo que contiene los resultados de las metodologias anuales en el tramo 1 (uno) del río Quindío. (Ver Figura N° 173 y Figura N° 174)

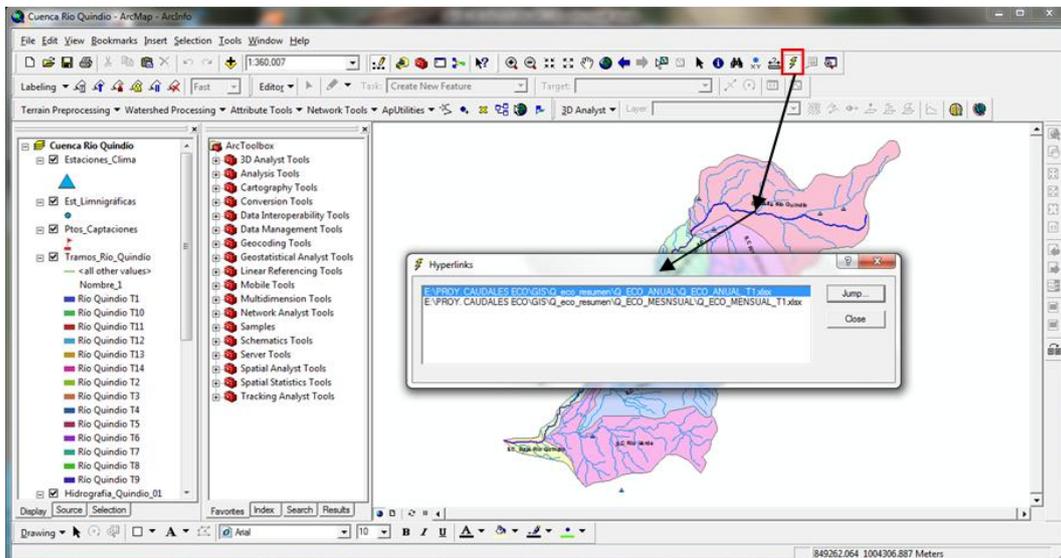


Figura N° 173 Ventana de Hipervínculos (ArcGIS V 9.3)

ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

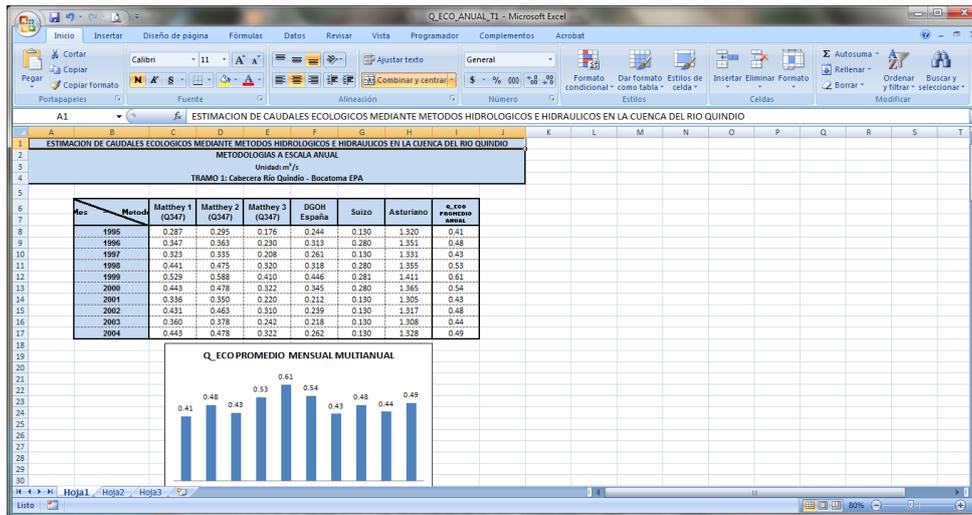


Figura N° 174 Resultados caudales ecológicos UMC del río Quindío en MS Excel (ArcGIS V_9.3)

Con la aplicación de cualquiera de los procedimientos de consulta descritos (Relacion de Tablas e Hipervinculos) se pueden ver los resultados de las diferentes metodologías aplicadas en la estimación de caudales ecológicos en la UMC del río Quindío que se encuentran dentro de la base de datos construida en la herramienta informática ArcGIS V 9.3 del presente estudio.



11.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Con respecto a los Caudales Ecológicos:

- Las metodologías para la estimación de caudales ecológicos a escala mensual son mucho más conservadoras y precisas en cuanto al comportamiento normal de la UMC Río Quindío que las metodologías a escala anual.
- Las metodologías utilizadas en Colombia (Ley de Aguas, ENA e IDEAM) generan valores puntuales que no caracterizan la variación estacional real de las precipitaciones en el país, generando una especie de incertidumbre en cuanto a la eficiencia de dichos métodos.
- Algunas metodologías no representan las condiciones tanto hidrológicas como geomorfológicas de nuestro país, motivo por el cual se deben tomar más como referencia, que como método definido para la UMC río Quindío.
- El método del Q95 a comparación del método del 7Q10, siendo estas las mencionadas por el proyecto de resolución de caudales ambientales en Colombia, por ser un método que maneja un régimen de caudales mensuales los cuales cambian según el comportamiento estacional del clima en el país es mucho mejor que el otro método en mención (7Q10) ya que este maneja un dato puntual.
- Los caudales ecológicos obtenidos para el tramo del río Navarco y para el tramo de la Bocatoma EPA evidencian los problemas que se podrían presentar en cuanto a la cantidad de agua disponible para consumo humano en épocas de estiaje. Este problema podría ocasionar sequías estacionales en el río si no se planifica el recurso hídrico en esta zona principalmente.
- Para la validación de este estudio se hace necesario desarrollar un estudio de caudales ecológicos mediante métodos de simulación de hábitat, con el fin de establecer mediante la inclusión de las características de hábitat de cada una de las especies pertenecientes al cauce del río Quindío y sus tributarios, un caudal ecológico tal que satisfaga las necesidades de dichas especies y conserve las condiciones morfológicas y ecoambientales de la UMC Río Quindío.

11.2. Con respecto a la hidrología de la UMC río Quindío:

- La información obtenida de las estaciones hidrometeorológicas y limnigráficas es incompleta, en algunos casos se requirió utilizar metodologías que permitieran completar la información, la cual es necesaria para el desarrollo integral del análisis, más precisamente la información de precipitación y evapotranspiración para el modelo Lluvia-Escorrentía de la UMC río Quindío.
- Basados en los resultados obtenidos con el modelo Lluvia-Escorrentía de la FAO y los caudales medidos en las estaciones limnigráficas de la UMC Río Quindío, se puede concluir que existe una interconexión hidráulica entre el

sistema acuífero Glacis del Quindío y el río Quindío, desafortunadamente no existen estudios del sistema acuífero que permitan tener un mejor conocimiento de su comportamiento y la Interacción que existe con las corrientes superficiales de la UMC.

- Realizar o actualizar los estudios relacionados con la cobertura/uso del suelo de la cuenca que permitan estimar parámetros tales como coeficiente de cultivo, evapotranspiración de referencia y evapotranspiración potencial.

11.3. Con respecto a la gestión del recurso hídrico:

- Se recomienda utilizar la metodología del Q95 a la hora de planificar y dar concesiones de agua en los diferentes tramos del cauce principal ya que esta por manejar una escala mensual, representa de mejor manera el comportamiento hidrológico y estacional de la cuenca de estudio. Los caudales ecológicos mediante el método del Q95 se muestran en la Tabla N° 89.
- En épocas de estiaje se recomienda que las centrales hidroeléctricas ubicadas en la cuenca media del río Quindío capten un máximo del 50% del valor concesionado con el fin de no generar un estrés hídrico importante en la cuenca.
- El río Quindío en su parte media en épocas de estiaje se ve afectado mucho más de lo normal por las consecutivas captaciones que se hacen para las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas (PCH), generando un impacto sensible en dichos tramos.
- A la hora de aplicar los valores de caudales ecológicos obtenidos en este estudio en la UMC Río Quindío, se debe primero socializar y concertar con los usuarios de esta para que haya un acuerdo entre las partes que facilite la planeación y gestión de recurso hídrico.
- La gestión del recurso hídrico con base en los caudales ecológicos obtenidos en el presente estudio, se deben aplicar gradualmente a los usuarios con el fin de que no se generen impactos socio-económicos tan severos a estos y se puede tener una concientización más profunda entre todos los que se benefician de dicha UMC.
- Se recomienda fortalecer el sistema de información hidrológica, garantizando la continuidad y mayor confiabilidad en las estaciones limnigráficas que actualmente existen, ya que dichos datos presentan discontinuidad o vacíos de información en la serie histórica, limitando así los estudios sobre el recurso hídrico que se realicen con dicha información. Así mismo, se recomienda fortalecer el sistema de información geográfica (SIG).
- Se deben realizar estudios hidrogeológicos que permitan caracterizar el sistema acuífero Glacis del Quindío de modo tal que se pueda tener conocimiento claro de su comportamiento y modelo de flujo, y así planificar y gestionar de mejor manera el recurso hídrico, aprovechando este importante recurso subterráneo y reduciendo la presión por el recurso hídrico en la región.

- Realizar estudios detallados que permitan definir la cantidad y tipos de demandas que se tienen a lo largo de la UMC Río Quindío.
- El presente estudio contribuye a la gestión integral de los recursos hídricos, y debe ser complementado con aspectos socioeconómicos, morfológicos e hidrobiológicos propios de la UMC Río Quindío; con el propósito de obtener una gestión ordenada donde se protejan los recursos hídricos y el ambiente, acompañado del uso racional y eficiente del agua y la participación de los usuarios en la UMC.



ESTIMACIÓN DE CAUDALES ECOLÓGICOS MEDIANTE MÉTODOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS EN LA UMC RÍO QUINDÍO

METODO DEL Q95 (m ³ /s)																
MESES	TRAMOS															
	1 Bocatoma EPA)	Navarco	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 (Calle Larga)	14	Centro Guadua
Enero	1,38	1,27	1,38	3,87	3,87	3,87	3,87	3,87	3,90	3,90	3,90	3,90	3,97	3,97	6,94	1,15
Febrero	1,98	1,25	1,98	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49	4,57	4,57	4,57	4,57	4,78	4,78	7,41	0,82
Marzo	1,91	1,47	1,91	5,37	5,37	5,37	5,37	5,37	5,48	5,48	5,48	5,48	5,78	5,78	9,47	1,00
Abril	1,30	1,33	1,30	3,80	3,80	3,80	3,80	3,80	3,84	3,84	3,84	3,84	3,93	3,93	8,97	1,27
Mayo	1,82	1,39	1,82	4,15	4,15	4,15	4,15	4,15	4,17	4,17	4,17	4,17	4,25	4,25	7,41	1,55
Junio	1,12	1,40	1,12	4,09	4,09	4,09	4,09	4,09	4,10	4,10	4,10	4,10	4,17	4,17	7,28	1,37
Julio	1,74	1,22	1,74	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,62	3,62	3,62	3,62	3,70	3,70	7,67	1,24
Agosto	1,24	1,39	1,24	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	2,88	3,11	3,11	6,21	1,32
Septiembre	1,55	1,70	1,55	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14	4,23	4,23	4,23	4,23	4,46	4,46	8,04	1,37
Octubre	2,00	1,17	2,00	4,48	4,48	4,48	4,48	4,48	4,53	4,53	4,53	4,53	4,67	4,67	7,98	1,45
Noviembre	2,21	2,51	2,21	6,05	6,05	6,05	6,05	6,05	6,17	6,17	6,17	6,17	6,43	6,43	10,58	1,64
Diciembre	2,18	1,65	2,18	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,51	4,51	4,51	4,51	4,56	4,56	9,48	1,47

Tabla N° 89. Caudales ecológicos mediante el método Q95 para los tramos estudiados a escala mensual



12.0 AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ) la cual con la Universidad del Quindío en el marco del Convenio Interadministrativo N° 027 de Noviembre 10 de 2010 permitió desarrollar a cabalidad todas las actividades del presente estudio.

De igual forma agradecemos a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Quindío que con el Proyecto de Investigación N° 444: “Estimación de caudales ecológicos mediante métodos hidrológicos e hidráulicos en la cuenca del Río Quindío” facilitó el desarrollo y las bases para la formulación de dicho convenio y el desarrollo del presente estudio.



13.0 REFERENCIAS

- _____, 2005, Proyecto Ley N° 365 “Por el cual se establecen medidas para orientar la Planificación y Administración del Recurso Hídrico en el Territorio Nacional”, Bogotá-Colombia.
- _____, Evapotranspiración del Cultivo, Estudio FAO Riego y Drenaje 56, FAO, pp. 15-28,65-79,87-134.
- Almeida, M. 2010. Instructivos de Procesamiento de Información Hidrometeorológica. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto previo a la obtención de Ingeniería Ambiental. Quito, Ecuador.
- Arias, P.A., Poveda, Germán. 2007. Estimación de la Relación Adimensional de Budyko en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. : Volumen XXXI, Número 118-marzo de 2007. Medellín, Colombia.
- Baeza, D; Martínez-Capel, F; García de Jalón, D. 2003. Variabilidad Temporal de Caudales; Aplicación a la Gestión de Ríos Regulados. Ingeniería del Agua. Vol.10 No.4 Madrid.
- Bovee K.; Lamb, B.L; Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J.; Henriksen. 1998. Stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology. U.S. Geological Survey. USGS/BRD/ITR—1998-0004. Fort Collins.
- Bunn, S.E; Arthington, A.H. 2002. Basic principles and consequences of altered hydrological regimes for aquatic biodiversity. Environmental Management 30(4): 492-507.
- Cachón de Mesa, J. 2002. Los regímenes de caudales con fines ambientales. Herramienta básica en la gestión y mejora del medio ambiente. CETA-CEDEX, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento. Memorias del I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Madrid. 311-323 p.
- Caissie, D; El-Jabi, N. 1994. Comparison and regionalization of hydrologically based instream flow techniques in Atlantic Canada. Can. J. Civ. Eng. 22: 235-246.
- Centro de Cambio Global (UG)-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute (SEI), 2009. Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP.
- Chang V.B, Vicente González J.L, 2008, Consulta, Edición y Análisis Espacial Con ARCGIS 9.2 Tomo I: Teoría, Junta de Castilla y León.
- Chang V.B, Vicente González J.L, 2008, Consulta, Edición y Análisis Espacial Con ARCGIS 9.2 Tomo II: Ejercicios, Junta de Castilla y León.

- Chow V.T, Maidment D.R, Mays L.W, 1994, Hidrología Aplicada, McGRAW HILL, Bogotá, Colombia.
- Convenio Interadministrativo N° 027 de Noviembre 10 de 2010 entre la Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ y la Universidad del Quindío “Estimación de Caudales Ecológicos mediante métodos Hidrológicos e Hidráulicos en la Cuenca del Río Quindío”.
- Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ, 2008, Plan de ordenación y manejo ambiental UMC Río Quindío. Armenia, Colombia.
- Cubillo, F.; Casado, C.; Castillo, V.1990. Caudales ecológicos, Estudio de regímenes de caudales mínimos en los cauces de la comunidad de Madrid. Agencia de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid. Madrid. 305 pp.
- Diez Hernández J.M, Burbano Burbano L, 2006, Técnicas Avanzadas para la Evaluación de Caudales Ecológicos en el Ordenamiento sostenible de Cuencas Hidrográficas, Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional, Vol. 26, pp.58-68, Bogotá.
- Diez Hernández J.M, Ruiz Cobo D.H, 2007, Determinación de Caudales Ambientales confiables en Colombia: el ejemplo del río Palacé (Cauca), Gestión y Ambiente, Vol. 10, pp. 153-166.
- Docampo, L. 2002. Modelización hidráulica de caudales ecológicos. HURIEM (Sociedad de Investigación y Gestión de Humedales, Ríos y Embalses). Ortuella (Vizcaya).
- Dyson, M., Bergkamp, G., Scanlon, J. (eds.). 2003. Flow. The Essentials of Environmental Flows. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Xiv + 118 pp. (Citado en Magdaleno, 2005).
- Global Water Partnership – GWP. 2005.
- Hoppe, R.A. 1975. Minimum stream flow for fish. En: Gordon, N.D., McMahon, T.A., Finlayson, B.L. 1992. Stream hidrology. An introduction for ecologist. Jhon Wiley & Sons. Chichester (UK).
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudio Ambientales, IDEAM.
- Jaramillo Robledo A, 2006, Evapotranspiración de Referencia en la Región Andina de Colombia, Cenicafé.
- Jaramillo, P. C., Llano, J. 2010. Implementación de un Sistema Soporte de Decisión para la planificación y gestión del recurso hídrico en la cuenca del Río Quindío. Armenia, Colombia.
- King, J.M. & D. Louw. 1998. Instream flow asesmentes for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. Aquatic Ecosystem Health and Restoration.

- Lozano, G. 2005. Caudales Ecológicos: Conceptos, Metodologías, Estado del Arte y estimación mediante métodos hidrológicos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
- Magdaleno, F. 2005. Caudales Ecológicos: Conceptos, métodos e interpretaciones. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.
- Matthews, R.C. Jr., Bao, Y. 1991. The Texas method of preliminary instream flow determination. *Rivers* 2(4): 295-310.
- Monsalve Sáenz, G., Hidrología en la ingeniería. McGRAW-HILL. Bogotá ed.1995.
- Moriarty, P., Butterwrth, J. y Batchelor, C. 2006. La gestión integrada de los recursos hídricos y el subsector de agua y saneamiento doméstico. IRC International Water and Sanitation Centre.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación –FAO. Comité técnico interinstitucional del PNDF Corporación Aldea Global. 2005. Caracterización social, ambiental y productiva e identificación de los actores del sector forestal de los departamentos del eje cafetero Antioquia, Tolima y Valle del Cauca. Armenia, Colombia.
- Organización Meteorológica Mundial OMM. 1994. Guía de Prácticas Hidrológicas. Quinta Edición. OMM-168.
- Pérez Giraldo A. M, 2008, Implementación del modelo de simulación de calidad del agua qual-2k para el río Quindío tramo boquia- puente balboa. Colombia.
- Red Hidrometeorológica de la Corporación Autónoma Regional del Quindío CRQ.
- Ríos, L. E. 2010. Incidencia de la variabilidad Climática en los Caudales Mínimos del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Quito, Ecuador.
- Rojas P.C. Serna M.A. 2010. Determinación hidrológica del régimen de caudal natural de aguas superficiales del río Quindío. Contribución a la planificación y gestión del recurso hídrico sobre la cuenca hidrográfica. Armenia, Colombia.
- Sieber J, 2007, User Guide for WEAP21, Stockholm Environment Institute, Somerville – USA.
- Sieber J, 2010, Tutorial for WEAP21, Stockholm Environment Institute, Somerville – USA.
- Tennant, D. L. 1974. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources. Fish and Wildlife Service, Billings, M.T. 18 pp.
- Tharme, R.E. 1996. Review of international methodologies for the quantification of the instream flow requirements of rivers. Water law review final report for policy

development, for the Department of Water Affairs and Forestry,
Pretoria.FreshwaterResearchUnit, University of Cape Town.

Universidad Nacional de Colombia-Grupo GIREH – Ministerio de Ambiente Vivienda y
Desarrollo Territorial, 2007, Metodología para la Estimación de Caudal Ambiental
en Proyectos Licenciados, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Universidad Nacional del Nordeste. Guía del Trabajo Práctico N° 2: Procesamiento de
los datos de precipitación. Corrientes, Argentina.

